



DESARROLLO DE UN  
**SISTEMA GUÍA**

para el desplazamiento de personas  
ciegas en espacios controlados



**Savez**  
editorial

César Arturo Niño Carmona  
Jorge Carlos Mogollon Rojas  
David Alama Carreño  
Manuel Jesús Sánchez Chero  
Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Karina Silvana Gutiérrez Valverde



Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento  
de personas ciegas en espacios controlados



# Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados

César Arturo Niño Carmona  
Jorge Carlos Mogollón Rojas  
David Alama Carreño  
Manuel Jesús Sánchez Chero  
Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Karina Silvana Gutiérrez Valverde



CESAR ARTURO NIÑO CARMONA  
JORGE CARLOS MOGOLLON ROJAS  
DAVID ALAMA CARREÑO  
MANUEL JESUS SANCHEZ CHERO  
CECILIA LIZETH RISCO IPANAQUE  
KARINA SILVANA GUTIÉRREZ VALVERDE

Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de personas  
ciegas en espacios controlados

Autor – Editor:  
Manuel Jesús Sánchez Chero  
Mza I Lote 19 Urb. Fremín Avila Morón – Pimentel  
Chiclayo – Lambayeque - Perú

1a. Edición Digital – setiembre 2021

Hecho el depósito legal en la  
Biblioteca Nacional del Perú N° 2021-10527

ISBN: 978-9942-8957-4-5

Savez editorial

**Título:** Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de  
personas ciegas en espacios controlados

Primera Edición: Septiembre 2021

**ISBN: 978-9942-8957-4-5**

Obra revisada previamente por la modalidad doble par ciego, en caso  
de requerir información sobre el proceso comunicarse al correo  
electrónico editor@savezeditorial.com

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier  
medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros), sin la previa  
autorización por escrito del titular de los derechos de autor, bajo las sanciones  
establecidas por la ley. El contenido de esta publicación puede ser reproducido  
citando la fuente.

El trabajo publicado expresa exclusivamente la opinión de los autores, de  
manera que no compromete el pensamiento ni la responsabilidad del Savez  
editorial

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I .....	5
ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	5
CAPÍTULO II .....	13
LA TECNOLOGÍA Y LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL.....	13
Visión Artificial (V.A.) .....	15
Procesamiento de Imágenes.....	16
Espacio en Perspectiva Cónica .....	19
Componentes del Sistema Guía .....	20
Modulación por Ancho de Pulso (PWM) .....	23
Baterías .....	24
Sistema de Carga y Descarga .....	27
Python .....	27
OpenCV .....	27
CAPÍTULO III .....	28
INDICADORES DE EFICIENCIA DEL SISTEMA GUÍA.....	28
Tiempo de Respuesta de la Red de Comunicación ( $\Delta T$ ).....	28
Eficiencia de la Interpretación de Señales (E.I.S.) .....	28
Eficiencia del Procesamiento de Imágenes (E.P.I.) .....	29
Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U).....	29
Marco Conceptual.....	30
CAPÍTULO IV .....	33
PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN.....	33
Desarrollo del Sistema de Procesamiento de Imágenes Basado en un Controlador Raspberry para Localizar Obstáculos para Personas Ciegas en Espacios Controlados .....	33
Nivel de fluidez .....	35
Sintonización de parámetros del filtro Canny .....	41



Detección de obstáculos.....	50
Segmentación de las Zonas de Estudio .....	52
Intersección de los obstáculos encontrados .....	60
Diseño de la Red de Comunicación Unidireccional entre el Controlador y los Elementos Vibratorios para Mantener la Respuesta de los Datos en Tiempo Real.....	63
Análisis de Resistencia Interna de Motor .....	63
Diseño del Interruptor Lógico .....	65
Envío del Tipo de Pulso, según las Zonas de Estudio .....	69
Diseño del Equipo Portador de la Unidad de Procesamiento Informático.....	72
Análisis del Consumo Eléctrico .....	72
Selección del Tipo de Batería .....	76
Selección del Módulo de Carga y Descarga.....	79
Diseño del Equipo Portador .....	81
Desarrollo del Lenguaje de Comunicación entre Hombre y Máquina para Personas con Ceguera para Interpretar los Datos en Tiempo Real .....	87
Indicadores de Eficiencia del Sistema Guía .....	93
Tiempo de Respuesta de la Red de Comunicación ( $\Delta T$ ).....	94
Eficiencia de la Interpretación de Señales (EIS) .....	96
Eficiencia de Procesamiento de Imágenes (EPI) .....	102
Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U.).....	104
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	106
CONCLUSIONES .....	110
REFERENCIAS.....	112

## INTRODUCCIÓN

Al menos 2200 millones de personas en el mundo con deterioro de la visión cercana o distante, situación similar que se presenta en el Perú hasta febrero del 2021. De los cuales, al menos 1000 millones de estos casos representa el 45.5% de la población donde el deterioro visual podría haberse impedido. (Organización Mundial de la Salud, 2021). Sólo en el Perú se registran cerca de 160,000 personas invidentes y casi 600,000 con padecimiento de discapacidad visual (mayormente personas de 25 a 45 años de edad), donde la catarata es una de las principales causas de la ceguera (47%) seguida del glaucoma (14%) y la retinopatía diabética (5%). (Ministerio de Salud, 2014).

El objetivo del trabajo de investigación es desarrollar un sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados, el cual podrá minimizar caídas, golpes, lesiones o algún tipo de traumatismo que genere en la persona a la hora de su desenvolvimiento en espacios controlados, y obtener una mejor facilidad y seguridad en su desplazamiento a seguir, debido a que actualmente, el mercado peruano no cuenta con una variedad de instrumentos que sirvan de guía.

Para el desarrollo del sistema, capaz de guiar en el desplazamiento de personas con ceguera, la investigación constó de cuatro etapas. En la primera etapa se utilizó la visión artificial, debido a la complejidad en la detección de obstáculos, respecto a la variedad en tamaño y formas. En la segunda etapa se apoyó en el sentido del tacto del usuario mediante vibraciones, estas son producidas por pequeños motores con masa excéntrica. En la tercera etapa se emplearon estos dispositivos para generar un conjunto de señales capaces de ser interpretadas por el usuario con el fin de alertarlo. Finalmente, en la cuarta etapa se distribuyen los motores vibratorios, dos de ellos fueron colocados en la parte lateral del húmero de cada brazo (para indicar derecha e izquierda) y en la parte torácica se ubica el tercero (para indicar delante), esto ayudará a determinar la orientación del obstáculo, la cual

debe darse mayor énfasis para así poder esquivar e impedir que el mismo se oponga al libre desplazamiento del usuario. Luego, se encapsularon todos los componentes del sistema informático en un gabinete con el fin de hacer al sistema guía portátil para el usuario.

Es así que surge la necesidad de diseñar un prototipo cuya característica principal deba ser la portabilidad, y que a la vez se enfoque en el uso de herramientas tecnológicas como es el caso de la visión artificial dirigida con un enfoque humano.



## CAPÍTULO I

### ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

En el Perú existen cerca de 160,000 personas invidentes y casi 600,000 que sufren de discapacidad visual (en su mayoría personas de 25 a 45 años de edad), siendo la catarata una principal causa de la ceguera (47%) seguida del glaucoma (14%) y la retinopatía diabética (5%). (Ministerio de Salud, 2014).

En la actualidad, debido a los avances tecnológicos, existe una variedad de productos electrónicos como alternativa de apoyo para personas ciegas, denominados dispositivos de ayuda de desplazamiento (Electronic Travel Aid), los cuales están centrados en el uso del bastón al cual se le acondicionaron sensores electrónicos que permiten la detección de obstáculos además de un sistema encargado de enviar información de alerta al usuario ante la presencia de estos y así lograr una autonomía en los invidentes con su entorno. El costo de adquisición de estos dispositivos está entre \$420 (cuatrocientos veinte dólares americanos) y \$1,295 (mil doscientos noventa y cinco dólares americanos), costo que resulta ser uno de los inconvenientes para muchas personas con ceguera.

Si bien existe una variedad de herramientas tecnológicas que facilite su traslado, las personas invidentes en el Perú, no cuentan con dicha información. Es así que, con la finalidad de detectar la presencia de obstáculos, usualmente se emplean el bastón blanco, bastón verde y perro guía, aunque este último no tiene acceso a todos los espacios recreativos. Por otro lado, el bastón blanco es la herramienta más usada por las personas invidentes, de característica mecánica el cual es capaz de detectar los obstáculos en el suelo como escalones, superficies irregulares o agujeros.

Otra deficiencia es la falta de recursos financieros necesarios para su adquisición, por consiguiente, el mercado de esta variedad de herramientas electrónicas es escasa. Por lo tanto, la gran mayoría de personas invidentes prefieren hacer uso de los bastones guía, y en

el peor de los casos haciendo uso del tacto para conseguir información del medio donde se rodean, lo cual ocasiona constantes impactos en su cuerpo (cabeza, piernas, rodillas, pies) con diferentes objetos del entorno y es probable sufrir un accidente causando una lesión que comprometa la vida humana.

Es así como se busca mejorar la calidad de vida de las personas invidentes brindando una nueva alternativa tecnológica la cual se enfatiza en la adquisición de nuevos conocimientos en contribución a la sociedad. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de personas invidentes en espacios controlados.

“Durante el pasar de los años, se han podido resolver muchas problemáticas en tres diferentes revoluciones, actualmente nos encontramos en la cuarta revolución Industrial.” (Schwab, 2016). Y es en esta cuarta revolución industrial, en donde la investigación está centrada en las áreas de medicina, fisiología, y rehabilitación, focalizando su atención en resolver problemas humanos. Pero pese a ello se tiene desenfocado la solución de problemas que afectan a la población con discapacidad ciega, los cuales aún no cuentan con la variedad de herramientas tecnológicas que puedan guiar a personas en su desplazamiento y/o labores cotidianas de primera necesidad como la asistencia a los servicios higiénicos, comedor, sala, cuartos, logrando la mayor movilización motora como actividades donde se tenga presente el movimiento muscular del cuerpo humano, por el contrario, se podría producir disminución de masa muscular como principal problema, que a la vez contribuye a futuras enfermedades típicas como hipertensión (presión arterial elevado) o diabetes (glucosa elevada).

El desarrollo de un adecuado sistema guía aplicado al desplazamiento de personas con discapacidad visual genera un gran impacto social debido a que existe una población elevada de personas con ceguera, especialmente en el Perú. Así también, se toma en cuenta al hombre como un ser andante por naturaleza, pero al limitar su movilización crea conflictos internos que pueden afectar el nivel de autoestima en la persona. Es por ello, que el presente

trabajo de investigación tiene como finalidad desarrollar un sistema de apoyo amigable e intuitivo, para mantener una comunicación máquina - humano sencilla y eficaz, con la consideración de posibles perturbaciones externas, exigiendo al prototipo la capacidad de ser portátil, sin la necesidad de usar una gran fuerza muscular para su movilización, enfrentando las distintas problemáticas que surgen en los diferentes medios en el que se encuentre rodeado, lo que genera nuevos métodos por el uso de herramientas tecnológicas como es el caso de la visión artificial dirigido a un enfoque humano.

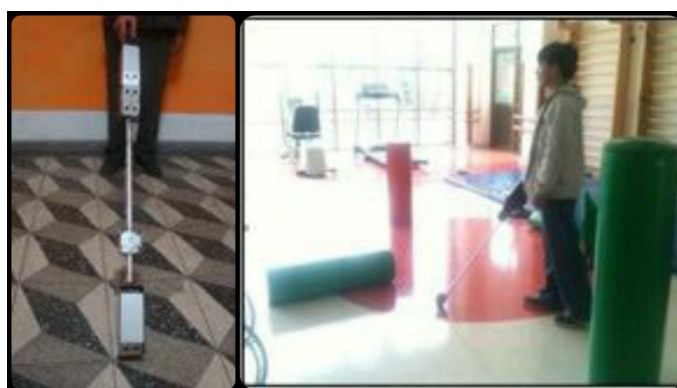
A nivel nacional, Quezada (2014), elaboró una investigación con la finalidad de diseñar e implementar un dispositivo electrónico de ayuda en el desplazamiento de personas ciegas de bajo costo utilizando sensores que permitan detectar obstáculos semejantes a los dispositivos existentes en el mercado con la finalidad de introducir este tipo de tecnologías en el Perú en busca de brindar a la persona invidente una mejora en su calidad de vida. El estudio fue descriptivo donde se utilizaron sensores ultrasónicos que permiten detectar obstáculos con un rango de 5 centímetros hasta 1.5 metros y los desniveles presentes en el suelo. Luego, se generaron dos modos de alerta, primero el modo sonido, consiste en enviar una alerta sonora (en un rango de 20Hz hasta los 20Khz) mediante un parlante o audífono. Y segundo el modo vibración, consiste en mecanismos de vibración que se encuentran en contacto con el cuerpo para presentar la información al usuario ante la presencia de un obstáculo.

Este diseño, que se presenta en la figura 1, logró ser un dispositivo electrónico de ayuda en el desplazamiento para personas invidentes, capaz de detectar objetos sin necesidad de hacer contacto con estos tal como los productos comerciales para ciegos empleados para este fin, teniendo en cuenta que la tensión de funcionamiento máxima de los motores seleccionados es de 3.5V, por lo cual no se debe superar el 45% del ciclo de trabajo, ya que este nos brinda una salida de 3.11V, con la finalidad de no exigir a los motores vibradores.



Adicionalmente, el peso del bastón fue de 1,55 Kg y el del bastón blanco más liviano es 300 gr.

Durante las pruebas realizadas con la persona invidente, la variación en la intensidad de vibración no fue perceptible, por lo que a la persona solo le bastó con recibir la información mediante la vibración (sin importar la variación de la misma) para evadir los obstáculos, de requerirse una alerta con mayor vibración podría utilizarse algún otro motor. El voltaje máximo recomendado con que podría funcionar este es de 5V, debido a que los demás componentes del sistema trabajan con el mismo nivel de voltaje. Además, se recomienda una mejora en el diseño, referido a la distribución de los componentes en el bastón que podría dar como resultado un dispositivo más liviano y ergonómico del que actualmente se presenta.



*Figura 1. Implementación del dispositivo electrónico.*

*Fuente: Pontificia Universidad Católica Del Perú. (Quezada, 2014).*

Otra investigación, fue la realizada en el Ecuador por Miranda y Aguirre (2018), quienes desarrolló un estudio con el objetivo de implementar un prototipo electrónico basado en tarjetas de desarrollo para el desplazamiento, lectura de texto impreso y localización de personas con discapacidad visual. La investigación fue descriptiva con el fin de aportar una solución tecnológica a los problemas que enfrenta dicho grupo social para lo cual se desarrolló cuatro etapas, la detección de obstáculos el cual es alertado por medio de un buzzer (zumbador), luego se desarrolló el proceso de lectura de texto impreso por el cual se hizo uso de visión artificial el cual es reproducido en un altavoz, después se hizo la Geolocalización con el uso de un módulo GPS el cual tiene la función de detectar el lugar

exacto en donde se encuentra la persona para enviarlo por medio de un SMS a través del módulo SIM con el fin de que algún pariente pueda saber dónde se encuentra cuando la persona con ceguera determine que se encuentra en alguna situación de peligro, todo esto se implementó en un dispositivo a la altura del abdomen, que permite detectar obstáculos, leer textos transcritos, enviar un mensaje de auxilio con su ubicación (Latitud y Longitud) el cual es activado por medio de un botón de pánico. La integración de los módulos desarrollados se presenta en la figura 2.

Los resultados obtenidos por los autores, indican que mediante un sensor ultrasónico la persona será alertada a una distancia mayor a 15 cm y menor a 90 cm del objeto, teniendo en cuenta que el tiempo de reacción del sensor ultrasónico es de 1 segundo. Para la lectura de texto impreso se determinó una distancia del pecho (cámara) y el texto a leer entre 20 cm y 30 cm, para la cual el tiempo de encendido de la Raspberry es de 30 segundos, además el proceso de lectura del texto impreso es de 20 segundos. El sistema de geolocalización logró resultados con respecto a la diferencia de distancias entre los puntos obtenidos por el GPS y los datos en Google Maps, en el peor de los casos la diferencia fue de 15.5 m la cual no tiene gran significancia ya que no dificultará encontrar al usuario, su tiempo de conexión del GPS es de 80 segundos y la conexión del SIM es de 20 segundos y la recepción del SMS tomó 12 segundos. Finalmente se recomienda desarrollar más tecnologías y sistemas de apoyo que ayuden a las personas con discapacidad visual a ser incluidos en la sociedad de una mejor manera.

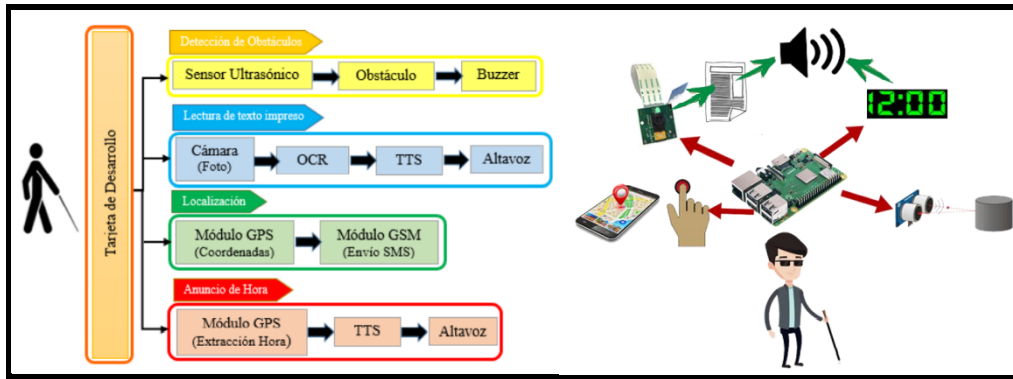


Figura 2. Integración de módulos del prototipo electrónico.

Fuente: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. (Miranda & Aguirre, 2018).

En el mismo sentido, Romero y Rodríguez (2018), presentaron, en Colombia, una investigación con el objetivo de diseñar un sistema portátil para la detección y descripción de obstáculos por medio del sensor Kinect, con el fin de ser utilizado para mejorar la movilidad de las personas con discapacidad visual y que funcione como apoyo al bastón blanco. La investigación fue descriptiva donde Kinect fue utilizado como fuente de información de imágenes, siendo esta una cámara muy usada en la consola de videojuegos XBOX 360, la cual relaciona los movimientos de la persona con el entorno del videojuego. Luego, la tesis se apoyó en el uso de elementos vibratorios que se encuentran distribuidos en la zona torácica en tres posiciones distintas que indican tres direcciones, derecha, izquierda y centro, capaces de cambiar su intensidad de vibración según las distancias a la cual el objeto se encuentre, es decir, una mayor intensidad para objetos distantes y un menor para objetos cercanos, con el fin de ser interpretados por el usuario. Además, se adicionó un botón que reproduce de manera audible información muy importante, como lo es: distancia, ancho y dirección a la cual se encuentra el objeto. Este diseño del sistema portátil, que se muestra en la figura 3, permitió que la cámara de profundidad genere el entorno independientemente a los contrastes de luz, además no tuvo problemas de detección por la intensidad lumínica del ambiente, incluso la cámara de profundidad respondió correctamente a ambientes oscuros. Finalmente se demostró una buena fluidez del dispositivo sin evidenciar lapsos ni tiempos muertos, esto es, sin bloqueos durante el funcionamiento, permitiendo que



la información al usuario sea constante y fluido en el sistema de alarma y la información audible al mismo. Pero se recomienda mejorar el diseño del sistema portátil debido a que, en espacios cerrados, sin un objeto a más de dos metros o con un techo bajo, se detectó el mismo como un obstáculo, entonces brindó información errónea al usuario.



*Figura 3. Implementación del sistema portátil.*

*Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (Romero & Rodríguez, 2018).*

Otra investigación, a nivel internacional, fue la realizada en Valencia por Santiago (2012), quien diseñó, integró y experimentó con un sistema 3D de navegación para personas invidentes, este prototipo integra diferentes tecnologías para la navegación (CMOS, estéreo visión y mapas acústicos), usando diferentes componentes (cámaras estéreos, sensores 3D, sensores láser, audífonos). La investigación descriptiva determina los obstáculos percibidos en distancias de 0.5 y 5 metros y para tal fin se usó un sistema láser, y para medidas entre 5 y 15 metros se apoyó del sistema de visión estéreo, el cual complementa para un mayor rango de distancias, y así interpretar la forma en cómo llega el sonido hacia los oídos, para lo cual se realizó un estudio en una cámara anecoica el cual tuvo como fin interpretar el comportamiento de las ondas sonoras a través de los diferentes obstáculos teniendo en cuenta las distancias y espesores, los cuales fueron almacenados en una FPGA. La PC se encargó de integrar la información proporcionada por las cámaras estéreos y la del sistema láser, obteniendo resultados mediante algoritmos de medición y efectos de rebote para generar un mapa de profundidad el cual permite la interpretación del medio, y en paralelo usa a la FPGA como base de datos acústicos, que finalmente se pueden percibir en los

audífonos, obteniendo una convolución entre los dos tipos de análisis tanto acústico como espacial. Los resultados demostraron que el dispositivo fue capaz de poder interpretar el medio en que se encuentra la persona a través del sonido para así poder guiar a la persona en su desplazamiento, pudiendo superar las pruebas denominadas, el laberinto y el test de movilidad. Se concluyó que se han definido, integrado y demostrado que un sistema compuesto por láser y visión estéreo puede ayudar a interpretar el mundo a invidentes. Este dispositivo permite detectar obstáculos y moverse por espacios y pasillos libres. Aunque los resultados han sido buenos, se recomienda aún la ayuda del bastón, y durante algún tiempo se deberán mezclar ambas ayudas, manteniendo como insustituible el bastón.

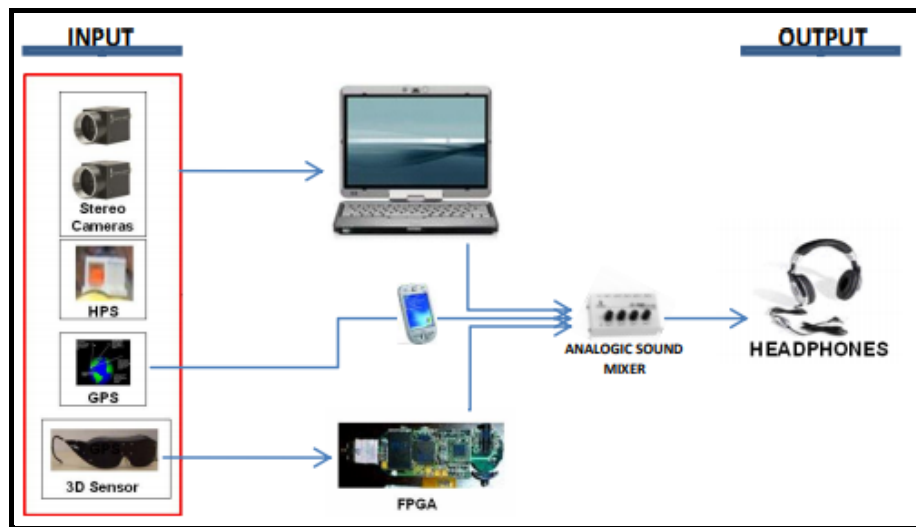


Figura 4. Integración física del prototipo definitivo.  
Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. (Santiago V. M., 2012).

## CAPÍTULO II

### LA TECNOLOGÍA Y LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

La discapacidad visual es la alteración de la visión, bajo la forma de pérdida parcial o total de la misma, por daños ocasionados en los ojos o por enfermedades, traumatismos o defectos congénitos en el sistema nervioso encargado de procesar la información visual. (Farías, 2010). Es así que, la Discapacidad Visual supone la restricción o ausencia de la capacidad, debida a una deficiencia visual, para llevar a cabo las actividades de la vida cotidiana, lo que ocasiona una situación de desventaja social, derivadas de una deficiencia o discapacidad visual, que limitan o impiden al sujeto el desempeño de los roles que son normales en su caso (en función de su edad, sexo y factores sociales y culturales).

Hasta febrero del 2021 hay al menos 2200 millones de personas en el mundo con deterioro de la visión cercana o distante, situación similar que se presenta en el Perú, tal como se muestra en las figuras 5 y 6. Es así que, en al menos 1000 millones de esos casos, representando el 45.5% de la población, el deterioro visual podría haberse evitado o todavía no se ha aplicado un tratamiento. (Organización Mundial de la Salud, 2021).

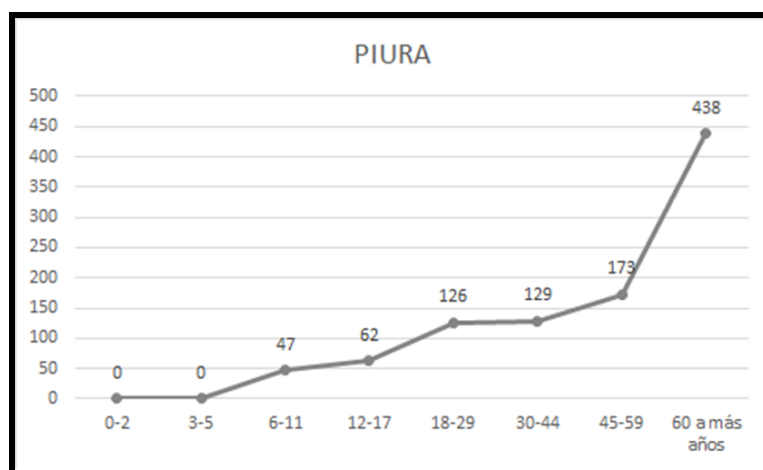


Figura 5. Población con discapacidad visual inscritas en CONADIS hasta el 2020 en el departamento de Piura.

Fuente: Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad. (CONADIS, 2020).

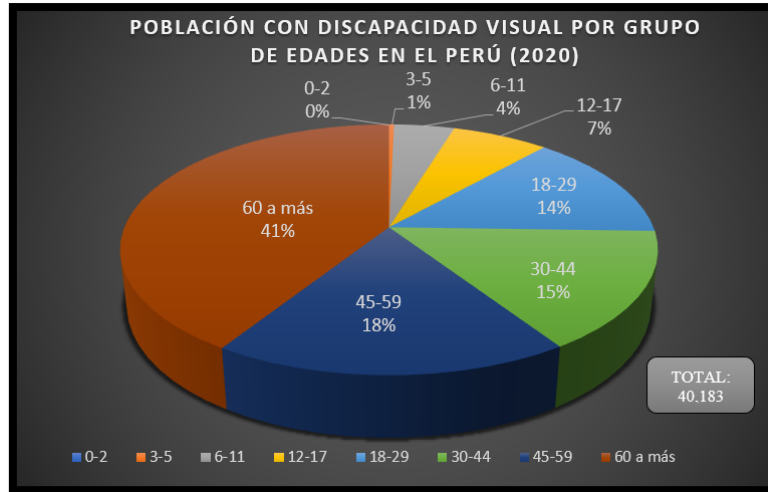


Figura 6. Población con discapacidad visual por grupo de edades en el Perú hasta el 2020.  
Fuente: Consejo Nacional para la Integración de la Persona con Discapacidad. (CONADIS, 2020).

Son muchas las herramientas tecnológicas que pueden ayudar a facilitar la vida diaria de las personas con discapacidad visual, ya sea que necesite desplazarse por su vivienda o en la vía pública, o para disfrutar de otras actividades. La tecnología, para una persona ciega, no es solo un vehículo para acceder a información con total autonomía personal, sino que es más que eso: es una oportunidad para sentirse en igualdad y en una vida mejor.

Es así, que se han desarrollado múltiples sistemas de ayuda electrónica para movilidad mediante los típicos bastones en los que se integran sistemas de detección de obstáculos por ultrasonido, láser, o cualquier otra tecnología basada en la ecolocación e informando al usuario mediante tonos musicales, o incluso mediante señales tacto-vibrátiles. Otras soluciones están basadas en sistemas de posicionamiento Global (GPS) montados sobre bastones, teléfonos móviles, PDAs con adaptación y PDAs específicas.

Desde la perspectiva actual, la posibilidad de desarrollar ayudas tecnológicas válidas para la orientación y la movilidad es un reto, tanto de tipo tecnológico como en lo referente al conocimiento de la información mínima que se debe aportar al sujeto para lograr una orientación y movilidad válida, segura e independiente, como son el ambiente que se debe ofrecer para la tarea de movilidad: la presencia, localización y naturaleza del obstáculo u

obstáculos en la vía de paso, y la textura, inclinación y límites de la superficie de paso o desplazamiento. (Muñoz S., 2013).

La visión por computador como sustituto de la visión humana, es una herramienta fundamental en la implementación de dispositivos de apoyo a personas con discapacidad visual. Algunas de las tareas principales para las cuales se utiliza la visión artificial como apoyo a personas con discapacidad visual con buenos resultados, se encuentra la asistencia en la movilidad, orientación, reconocimiento de objetos, acceso a información impresa e interacción social. (Cardona & Vasquez, 2019).

### Visión Artificial (V.A.)

La Visión Artificial (V.A.) como un campo de la Inteligencia Artificial (I.A.) describe las propiedades de un mundo tridimensional generalmente dinámico, a partir de una o varias imágenes digitales bidimensionales. Las imágenes pueden ser monocromáticas (de niveles de gris) o colores, pueden provenir de una o varias cámaras e incluso cada cámara puede estar estacionaria o móvil. (Sobrado, 2003).

Siendo la imagen un arreglo o matriz de puntos, estos corresponden al valor de una función bidimensional, denominada  $f(x, y)$  donde  $x$  e  $y$  son coordenadas espaciales y el valor total de la función, representa la intensidad o brillo de la imagen, así como en el caso de imágenes blanco y negro, los valores se encuentran entre 0 y 255 bits; y para imágenes a color, corresponde a la combinación de tres arreglos, denominados Rojo, Verde y Azul (con valores de 0 a 255 bits cada uno) en el modelo de color aditivo denominado RGB (Red, Green & Blue). (Sanabria & Archila, 2011).

La visión artificial, a diferencia de las tecnologías que incorporan dispositivos electrónicos con sensores, permite una interpretación del entorno, ofreciendo un mayor grado de representación de la realidad a partir de mayor complejidad en el procesamiento de la información (Cardona & Vasquez, 2019), utilizando para ello el procesamiento de imágenes.

## Procesamiento de Imágenes

El procesamiento de imágenes nos permite extraer datos, mediciones o información de manera sencilla y eficiente contenida en una imagen con el objetivo de facilitar la búsqueda e interpretar la información contenida en ellas para luego analizar y adecuar cierta aplicación específica. Este proceso resuelve la digitalización y codificación de imágenes facilitando la transmisión, representación y almacenamiento de las mismas, también describe y segmenta la imagen para diferentes aplicaciones de visión artificial (Aguirre, 2013).

Entre los criterios a considerar dentro del procesamiento de imágenes, se encuentran:

### ➤ Escala de grises

El color de la imagen no siempre aporta información relevante para interactuar. Por lo tanto, en estas situaciones se acostumbra a descartar la información de color de la imagen transformándola en una imagen de tonos de grises. De este modo, se ahorra mucha información y los cálculos serán mucho más sencillos de computar. Por ejemplo, si se está analizando una imagen en color, se encuentra que está hecha de una matriz con arreglos de 3 espacios, estos para los tres colores, RGB, en cambio cuando se analiza en escala de grises solo bastará una matriz con arreglos de 1 espacio, ahorrando 2/3 partes de los píxeles que se han de tratar si se descartan los componentes de color y se trabaja simplemente con la imagen de intensidad luminosa o niveles de grises. (Maduell, 2012).



Figura 7. Comparación de imagen a color y escala de grises.  
Fuente: Banco de imágenes. (Pixabay, S/F)

### ➤ Detección de bordes

El proceso de detección de bordes sirve para simplificar el análisis de las imágenes reduciendo drásticamente la cantidad de datos a procesar, al mismo tiempo permite preservar la información estructural útil sobre las fronteras del objeto. Ciertamente hay una gran diversidad de aplicaciones para la detección de bordes, pero se considera que muchas de estas aplicaciones comparten un conjunto común de requisitos entre ellos tener una baja tasa de error en el proceso de detección. (Canny, 1986).

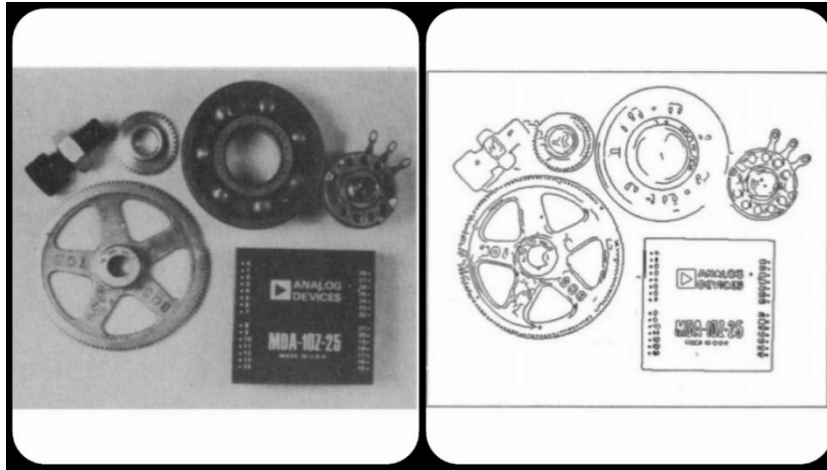


Figura 8. Imagen con umbral e histéresis de 576 x 454 pixeles.  
Fuente: Universidad de Pekín. (Canny, 1986).

### ➤ Iluminación de la escena

La adquisición de imágenes por parte de una cámara varía mucho según la iluminación de la escena. Un cambio lo bastante fuerte en el ambiente lumínico puede hacer que todo el sistema de visión artificial funcione de un modo muy diferente.

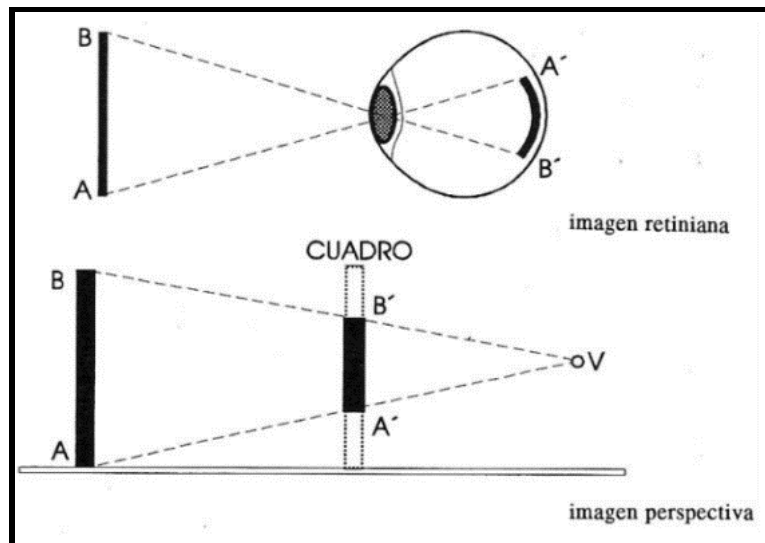
En casos en los que no se pueda conseguir un ambiente estable (una aplicación al aire libre), se puede adaptar el sistema de adquisición de imágenes a las condiciones en las que se encuentre, a través de algoritmos adaptativos que permitan analizar periódicamente los cambios de iluminación y adaptar el sistema de visión a las nuevas condiciones, además, en algunos casos se hace uso de la luz infrarroja ya que esta no depende de la luz exterior y permite trabajar en ambientes muy oscuros. (Maduell, 2012).

Es así, que uno de los mayores retos que el hombre se propuso es el de comprender el funcionamiento de los órganos de los sentidos, para posteriormente tratar de imitar dicho funcionamiento por medio de las tecnologías existentes, buscando así la solución de problemas del mundo real. De ahí la necesidad de comprender el tipo de proyecciones cónicas que imitan la forma como se proyectan las imágenes en el ojo humano.



## Espacio en Perspectiva Cónica

Representa una escena o un objeto desde un determinado punto de vista; tal que, dicho punto es el centro de la proyección. Las proyecciones cónicas recrean imágenes similares a las que proporciona el ojo humano, debido a que las imágenes oculares siguen el tipo de proyección cónica al igual que la fotografía. En la figura 9 se muestra la analogía existente entre la imagen retiniana y la imagen en perspectiva. (Ballester, 2017).



*Figura 9. Analogías de imagen retiniana y en perspectiva.  
Fuente: Universidad Autónoma de Madrid. (Ballester, 2017)*

Para su representación geométrica en sistema cónico se define como una figura plana contenida en un plano de proyección, la cual está formada por todos los puntos de intersección de las visuales que lo atraviesan, las cuales van desde el punto de vista hasta los puntos más resaltantes del objeto real. Por ejemplo, en la figura 10, la casa es observada desde el punto de vista del espectador. Los rayos visuales se dirigen a los puntos notables de la casa, los cuales atraviesan el plano del cuadro. Cada uno de estos rayos visuales tiene su punto de intersección con el plano. (Beltrán, 2006).

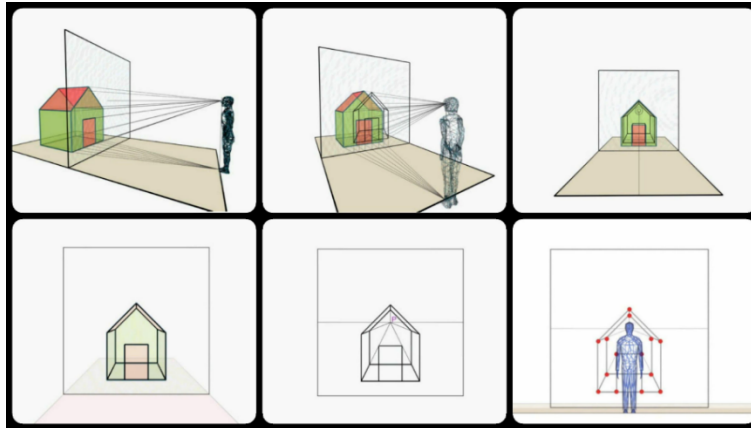


Figura 10. Observación y proyección cónica de una casa desde el punto de vista del espectador en el plano del cuadro.

Fuente: Universidad de Granada (Beltrán, 2006).

De esta forma, se utilizan en conjunto, diferentes componentes que forman el sistema de visión por computador para el procesamiento de imágenes y técnicas de inteligencia artificial para el análisis de datos y la obtención final de los resultados.

## Componentes del Sistema Guía

### Raspberry Pi.

La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, puede ser conectada a un monitor de computador o un TV, y usarse con un mouse y teclado estándar. Es un pequeño computador que corre un sistema operativo Linux capaz de permitir explorar la computación y aprender a programar lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de hacer la mayoría de las tareas típicas de un computador de escritorio, desde navegar en internet, reproducir vídeos en alta resolución, manipular documentos de ofimática, hasta reproducir juegos.

Además, la Raspberry Pi tiene la habilidad de interactuar con el mundo exterior, puede ser usada en una amplia variedad de proyectos digitales, desde reproductores de música y vídeo,

estaciones meteorológicas, hasta cajas de aves con cámaras infrarrojas". (MCI Electronics, S/F).

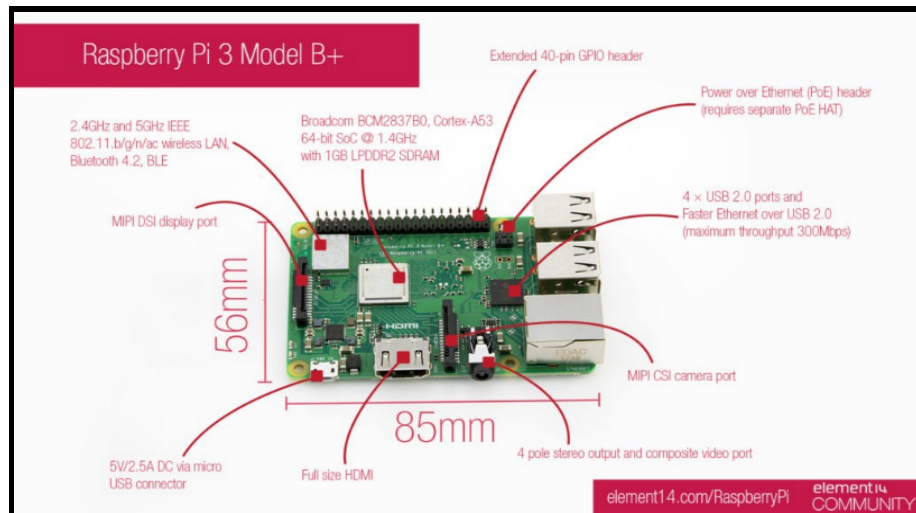


Figura 11. Raspberry Pi 3, Modelo: 3B+.

Fuente: Comunidad Element14 Raspberry Pi. (Element14, S/F).

## Cámara Pi NoIR V2

La cámara V2 tiene un sensor de imagen Sony IMX219 de 8 megapíxeles. El Pi NoIR no contiene un filtro infrarrojo, esto permite la capacidad de ver en la oscuridad haciendo uso de iluminación infrarroja, además, de poder utilizar la cámara para monitorear la salud de las plantas verdes, también, con unos pocos LED infrarrojos, se puede visualizar lo que los animales nocturnos están haciendo. La cámara funciona con todos los modelos de Raspberry Pi 1, 2, 3 y 4. (Raspberry, 2016).



*Figura 12. Cámara Pi NoIR V2  
Fuente: Fundación Raspberry Pi. (Raspberry, 2016).*

## **Motor vibrador**

El motor vibrador de corriente directa, es un motor que gira con una pequeña pieza de forma semicilíndrica, sujeta en el eje que actúa como un contra peso. Esta pieza logra que el eje del motor pierda balance al girar, produciendo así una vibración por parte del motor. Este principio de funcionamiento es aplicado en los vibradores de los dispositivos móviles. Los cuales son de bajo consumo de corriente, esto quiere decir que no superan los 80 mA, siendo su voltaje de polarización normalmente 5V, aunque esto principalmente es especificado por el fabricante. En el presente trabajo de investigación estos motores tienen la función de alertar a la persona ante la presencia de un objeto cada vez que la tarjeta de desarrollo, Raspberry Pi, le envía una señal modulada. (Quezada, 2014).

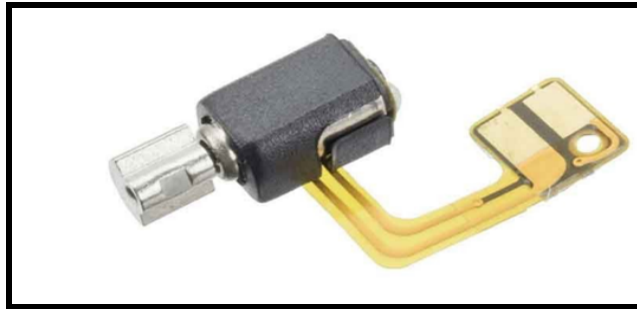


Figura 13. Motor DC con carga semi - cilíndrica acoplada al eje.  
Fuente: Grupo PC Máximo. (XiaomiStore, S/F).

## Modulación por Ancho de Pulso (PWM)

La Modulación Por Ancho de Pulso (Pulse Width Modulation, PWM) es la técnica más fácil y simple de implementar de la Modulación Temporal de Pulsos (Pulse Temporal Modulation, PTM) usando ambos tipos de circuitos analógicos y digitales. Ha sido una técnica muy explorada en sistemas de comunicaciones para la transmisión de señales analógicas, sin las desventajas del gran ancho de banda requerido por una modulación puramente digital.

La modulación PWM es una técnica de modulación no lineal que presenta una secuencia de pulsos rectangulares cuyo ancho depende del valor de amplitud de la señal moduladora, (lo que se manifiesta por un ancho del pulso variable) además de poder tener una frecuencia de trabajo variable, adaptándose así al tipo de aplicación en la cual se está empleando. Con Raspberry PI 3 es posible realizar modulación por ancho de pulso a través de su módulo GPIO, en donde podemos simular niveles variables de energía de salida a un dispositivo eléctrico. Se puede controlar la cantidad de potencia efectiva en la salida del GPIO. Un ciclo en estado encendido (ON) más corto en comparación con el ciclo de apagado (OFF) entrega un voltaje promedio más bajo, en cambio un tiempo más largo de encendido (ON) en relación con el tiempo de inactividad (OFF) produce un voltaje más alto. Una señal PWM tiene la forma mostrada en la figura 14, en donde los tiempos en alto refieren a un estado activo (ON) y los tiempos en bajo a un estado inactivo (OFF)". (Santiago, 2013).

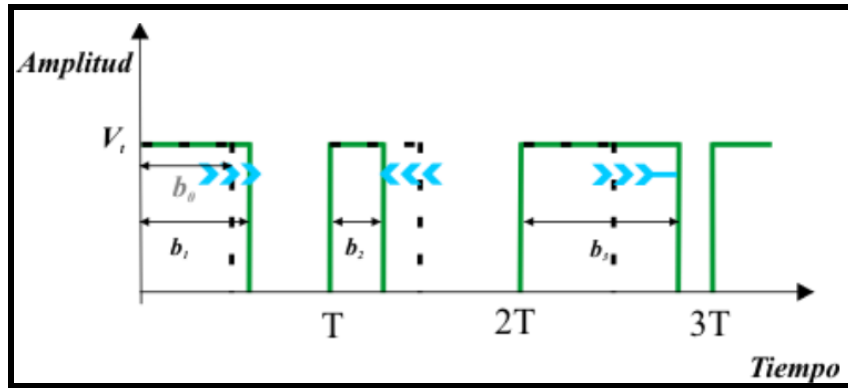


Figura 14. Desplazamiento de los flancos descendentes en una señal PWM, en función de la amplitud de la señal moduladora.

Fuente: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. (Santiago, 2013).

## Baterías

Batería, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, es el dispositivo que almacena energía eléctrica por medio de procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

Estas baterías se pueden clasificar según su material en: Níquel-Cadmio (Ni-Cd), Níquel-Metal Híbrido (Ni-MH), Tipo Litio, Tipo Alcalina. En las tablas 1 y 2 se indican las ventajas y desventajas de cada tipo de batería existente en el mercado, además de sus características técnicas principales según composición de batería. (Leonelli, S/F).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de algunos tipos de baterías según su composición.

TIPO DE BATERÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Plomo – ácido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo.</li> <li>- Fácil fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No admiten sobrecargas ni descargas profundas, lo que reduce su vida útil.</li> <li>- Altamente contaminantes.</li> <li>- Baja densidad de energía: 30 Wh/Kg.</li> <li>- Peso excesivo.</li> </ul>
Níquel – Hierro (Ni-Fe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo.</li> <li>- Fácil fabricación.</li> <li>- Permite sobrecargas, descargas totales en repetidas ocasiones e incluso cortocircuitos.</li> <li>- No es contaminante (no contiene metales pesados).</li> <li>- Muy larga vida útil.</li> <li>- Funciona en un rango amplio de temperatura (-40°C a 46°C).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demasiado duradera.</li> <li>- Baja densidad de energía 40 Wh/Kg.</li> </ul>
Pila alcalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se comercializa en varias versiones: 1.5 voltios, 6 voltios, y 12 voltios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad para impedir la salida de los constituyentes.</li> </ul>
Alcalinas de Manganeso (Mn)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contienen mercurio (que es muy contaminante). Una batería de estas puede contaminar 175,000 litros de agua.</li> </ul>
Níquel – Cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite ser recargada.</li> <li>- Admite sobrecargas.</li> <li>- Amplio rango de temperatura de funcionamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja densidad de energía 50 Wh/Kg.</li> <li>- Alto efecto memoria.</li> </ul>
Níquel – Hidruro metálico (Ni-MH)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy poco afectada por el efecto memoria.</li> <li>- Densidad de energía 80 Wh/Kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No trabaja muy bien en bajas temperaturas.</li> </ul>
Iones de Litio (Li-ion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy poco efecto memoria.</li> <li>- Se pueden cargar sin estar totalmente cargadas.</li> <li>- Densidad de energía 115 Wh/Kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No admite descargas totales ni sobrecargas.</li> <li>- No toleran muy bien los cambios de temperatura.</li> </ul>
Polímero de Litio (LiPo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permiten mayor densidad de energía.</li> <li>- Tamaño reducido en comparación con otras.</li> </ul>	
Pilas de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se pueden usar biocombustibles para obtener el Hidrógeno (Metanol o Metano).</li> </ul>	
Pila Óxido de Mercurio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciclo de descarga constante.</li> <li>- Funciona correctamente en altas temperaturas.</li> <li>- Tamaño reducido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo.</li> <li>- Altamente contaminante.</li> </ul>

- Voltaje constante durante toda su vida útil.

<b>Pila de Óxido de Plata</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta capacidad de carga.</li> <li>- Tamaño reducido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo.</li> </ul>
<b>Pila Zinc – Aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vida útil de 1-3 meses.</li> <li>- Mayor densidad de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo.</li> </ul>

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana. (Padrón, 2013).

Tabla 2. Características técnicas principales según composición de batería.

Tipo	Energía/Peso	Tensión Por Elemento	Duración (Número De Recargas)	Tiempo De Carga	Tasa de Auto Descarga Por Mes (% Del Total)
<b>Plomo</b>	30-40 Wh/Kg	2v	1000	8 – 16h	5%
<b>Ni-Fe</b>	30-50 Wh/Kg	1.2v	Más De 10 000	4 – 8h	10%
<b>Ni-Cd</b>	48-80 Wh/Kg	1.25v	500	10 – 14h	30%
<b>Ni-MH</b>	60-120 Wh/Kg	1.25v	1000	2 – 4h	20%
<b>Li-Ion</b>	110-160 Wh/Kg	3.7v	4000	2 – 4h	25%
<b>Li-Po</b>	100-130 Wh/Kg	3.7v	5000	1 – 1.5h	10%

Fuente: TV Group Solución Profesional. (Leonelli, S/F).



## Sistema de Carga y Descarga

Es aquel circuito conformado generalmente por microcontroladores y transistores que permite respetar las curvas de carga y descarga de la batería que el fabricante recomienda, esto con el fin de mantener el ciclo de vida útil de la batería, además de generar una protección evitando accidentes donde se encuentre involucrado incendios o explosiones súbitas, estas protecciones deben detectar tanto los sobrevoltajes como las sobre descargas en un posible corto-circuito, cumpliendo generalmente la función del interruptor, desactivando la salida que se encuentre conectado.

## Python

Python es un lenguaje de programación interpretado o de script, con tipado dinámico, fuertemente tipado, multiplataforma y orientado a objetos. Python se ejecuta utilizando un programa intermedio llamado intérprete, en lugar de compilar el código a lenguaje máquina que pueda comprender y ejecutar directamente una computadora (lenguajes compilados).

La ventaja de los lenguajes interpretados sobre los lenguajes compilados es que son más flexibles y más portables, no obstante, tiene muchas de las características de los lenguajes compilados, por lo que se podría decir que es semi interpretado, además, no es necesario declarar el tipo de dato que va a contener una determinada variable, sino que su tipo se determinará en tiempo de ejecución según el tipo del valor al que se asigne, y el tipo de esta variable puede cambiar si se le asigna un valor de otro tipo. (González, 2017).

## OpenCV

OpenCV u Open Computer Vision (Visión Por Computadora Abierta), es un conjunto de bibliotecas de programación que nos permiten llevar a cabo todo el proceso de visión artificial dentro de un ordenador, es decir, desde la adquisición de la imagen hasta la extracción de la información. Estas bibliotecas son la base de algoritmos y funciones que finalmente se pueden adaptar en las diversas aplicaciones desarrolladas. (Maduell, 2012).

## CAPÍTULO III

### INDICADORES DE EFICIENCIA DEL SISTEMA GUÍA

#### Tiempo de Respuesta de la Red de Comunicación ( $\Delta T$ )

Es el tiempo que recorre la señal eléctrica desde el puerto GPIO de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi hasta la actuación del motor vibrador, esto se definirá como una diferencia, entre el tiempo final y el tiempo inicial, esta diferencia solo se podrá capturar mediante el uso de un osciloscopio debido a la alta frecuencia a la que trabajan las señales en el orden de los microsegundos.

$$\Delta T = T_f - T_i$$

Donde:

- $\Delta T$ : Tiempo de respuesta de la red de comunicación.
- $T_f$ : Tiempo final del recorrido de la señal.
- $T_i$ : Tiempo inicial del recorrido de la señal.

#### Eficiencia de la Interpretación de Señales (E.I.S.)

Al sistema se le debe enseñar, a través de un entrenamiento, las señales vibratorias que el usuario percibirá por parte de la Raspberry Pi, las que serán usadas para la interpretación de la orientación de los obstáculos, por lo que se debe realizar un examen que tiene como fin recolectar la cantidad de señales que el usuario identifica correctamente respecto del total de señales emitidas por la Raspberry Pi, esto permitirá una comparación de dichas señales, las cuales indican un valor porcentual en términos de eficiencia.

$$E.I.S. = \frac{\text{Número de señales identificadas correctamente}}{\text{Número total de señales emitidas}} * 100\%$$

## Eficiencia del Procesamiento de Imágenes (E.P.I.)

EPI es un indicador porcentual usado para determinar la eficiencia en la detección de los obstáculos, para el cual se comparan dos tipos de controles, siendo estos:

1. Obstáculos eludidos: Es la cantidad de obstáculos que durante el recorrido se lograron esquivar, que con el procesamiento de imágenes se llegaron a interpretar.
2. Obstáculos totales: Es la cantidad total de los obstáculos puestos en la prueba de laberinto para su detección por el sistema guía.

$$E.P.I. = \frac{\text{Número de obstáculos eludidos}}{\text{Número de obstáculos totales}} * 100\%$$

## Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U)

La unión de todos los componentes mencionados anteriormente, determinan el dimensionamiento del equipo portador, lo que afecta su portabilidad por el usuario. Por lo que se determina un promedio de los ponderados de peso, tamaño y duración de batería, para verificar cuáles son los indicadores a favor y en contra que el usuario percibe. Se medirá a través del cálculo del indicador del Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U).

$$N.S.U. = P.P. + P.T. + P.D.B.$$

Donde:

- N.S.U.: Nivel de Satisfacción del Usuario.
- P.P.: Ponderado de Peso.
- P.T.: Ponderado de Tamaño.
- P.D.B.: Ponderado de Duración de Batería.

## Marco Conceptual

- Ancho de banda: Es la medida de datos y recursos de comunicación disponible o consumida expresados en bit/s o múltiplos de él como serían los Kbit/s, Mbit/s y Gigabit/s.
- Bits: Es el acrónimo de Dígito Binario (Binary Digit), para informática es la unidad más pequeña de información.
- Buzzer (zumbador): Es un transductor electroacústico (convierte una energía eléctrica en energía acústica), es decir, produce un sonido o zumbido continuo o intermitente capaz de reproducir diferentes tonos.
- Cámara de Profundidad: Es una cámara que permite conocer la distancia y la profundidad de los elementos que constituyen la imagen capturada, dotada de una salida Firewire (tipo de conexión para entrada y salida de datos a gran velocidad) para su posterior tratamiento.
- Cámara estéreo: Es un arreglo de dos o más cámaras con la finalidad de obtener diferentes perspectivas de la imagen capturada.
- C.M.O.S. (Complementary Metal Oxide Semiconductor): Al español semiconductor complementario de óxido metálico es una de las familias lógicas empleadas en la fabricación de circuitos integrados.
- Contraste: Diferencia de intensidad de iluminación en la gama de blancos y negros o en la de colores de una imagen fotográfica o cinematográfica.
- F.P.G.A. (Field Programmable Gate Arrays): Al español Campo de Matrices de Puertas Programables, es un dispositivo programable que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada mediante un lenguaje de descripción especializado.
- G.P.S.: "Global Positioning System" traducido al español significa "Sistema De Posicionamiento Global", es un sistema de navegación basado en 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo), que se encuentran en órbita sobre el planeta tierra, estos envían información sobre la posición de una persona u objeto en cualquier horario y condiciones climáticas.

- Histéresis: Fenómeno por el cual un material presenta un estado de evolución que no depende solo de la causa que lo provoca, sino también de sus estados anteriores.
- Infrarrojo: Es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas, es decir, es invisible para el ojo humano. Además, es emitida o absorbida por las moléculas cuando cambian el movimiento rotacional – vibracional.
- Inteligencia Artificial (I.A.): La inteligencia artificial es la habilidad de una máquina con características de un computador, de presentar las mismas capacidades que los seres humanos, como el razonamiento, el aprendizaje, la creatividad y la capacidad de planear.
- L.E.D. (Light Emitting Diode): Traducido al español como Diodo Emisor de Luz, es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n (protón - neutrón), que emite luz cuando está activado.
- Mapa de profundidad: Es una imagen que contiene información relacionada con la distancia de las superficies de los objetos de la escena desde un punto de vista.
- Módulo SIM: Es un módulo de telefonía celular, el cual permite usar características como voz, texto, datos y S.M.S., este debe ser comandado por un microcontrolador.
- Osciloscopio: Es un instrumento de visualización electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo.
- PDA (Personal Digital Assistant): Traducido al español como Asistente Personal Digital. Se trata de una computadora de bolsillo o asistente de datos personales, es un dispositivo móvil que funciona como un administrador de información personal.
- Pixel: Unidad básica de una imagen digitalizada en pantalla a base de puntos de color o en escala de grises.
- Sensor ultrasónico: Son detectores de proximidad en donde existen dos sensores, el primer sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar al segundo sensor.

- S.M.S. (Short Message Service): Traducido al español como Servicio de Mensajes Cortos, es un servicio que se puede utilizar entre teléfonos celulares o móviles para enviar mensajes de textos cortos, usualmente es cobrado por una operadora telefónica.
- Tester: También denominado multímetro o polímetro, es un instrumento eléctrico portátil para medir magnitudes eléctricas activas, como corrientes y potenciales (tensiones), o pasivas, como resistencias, capacidades, etc.
- Umbral: Es un indicador que refiere al valor límite que no debe superarse para garantizar el buen funcionamiento del sistema trabajado.
- Visión estéreo: Es el resultado de un sistema digital cuya principal fuente de información son las cámaras estéreas.

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN

Para este capítulo se desarrolló un prototipo del sistema guía donde se realizaron las pruebas descritas en los procedimientos para medir los indicadores, es decir, se evaluó a cada uno de los objetivos del trabajo de investigación. El primer punto muestra los resultados obtenidos para el desarrollo del sistema de procesamiento de imágenes, el segundo indica los resultados obtenidos para el diseño de la red de comunicación entre el controlador y los motores vibradores, el tercer presenta los resultados obtenidos en el diseño del equipo portador de la unidad de procesamiento informático, el punto cuarto señala los resultados obtenidos para el desarrollo del lenguaje de comunicación entre hombre y máquina para interpretar los datos en tiempo real; y por último se presentan los resultados para cada uno de los indicadores de eficiencia del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados.

#### Desarrollo del Sistema de Procesamiento de Imágenes Basado en un Controlador Raspberry para Localizar Obstáculos para Personas Ciegas en Espacios Controlados

El procesamiento de imágenes tuvo como finalidad de localizar obstáculos para personas ciegas en espacios controlados, para ello se hizo uso de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, la cámara NoIR, y el lenguaje de programación Python con las librerías de OpenCV, estos elementos fueron elegidos debido a su compatibilidad entre los mismos para el desarrollo de proyectos con Visión Artificial.

La selección de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi se determinó con el método de Factores Ponderados, para ello se tuvo en cuenta las siguientes características:

- Frecuencia del Procesador.
- Frecuencia del CPU.
- Capacidad de Memoria RAM.
- Frecuencia del GPU.

- Interfaz para Cámara.
- Disponibilidad en el Mercado Nacional.
- Costo.

*Tabla 3. Calificación sobre 100 de las características para la selección de la tarjeta de desarrollo Raspberry por el Método de Factores Ponderados.*

Características de la tarjeta Raspberry	Importancia relativa	Calificación (Escala: 0 - 100)				
		Pi 2B	Pi 3B	Pi 3B+	Pi 4B (2 GB)	Pi 4B (4 GB)
Frecuencia del Procesador	0.15	60	80	85	90	90
Capacidad de Memoria RAM	0.15	50	50	50	70	90
Versión del CPU	0.10	70	80	90	90	90
Frecuencia del GPU	0.10	60	80	85	90	90
Interfaz para cámara	0.20	90	90	90	90	90
Disponibilidad en el mercado nacional	0.20	80	80	90	60	60
Costo	0.10	90	85	85	80	70

*Elaboración Propia.*



Tabla 4. Calificación Ponderada de las características para la selección de la tarjeta de desarrollo Raspberry por el Método de Factores Ponderados.

Características	Importancia relativa	Calificación Ponderada				
		Pi 2B	Pi 3B	Pi 3B+	Pi 4B (2 GB)	Pi 4B (4 GB)
Frecuencia del Procesador	0.15	9	12	12.75	13.5	13.5
Capacidad de Memoria RAM	0.15	7.5	7.5	7.5	10.5	13.5
Frecuencia del CPU	0.1	7	8	9	9	9
Frecuencia del GPU	0.1	6	8	8.5	9	9
Interfaz para cámara	0.2	18	18	18	18	18
Disponibilidad en el mercado nacional	0.2	16	16	18	12	12
Costo	0.1	9	8.5	8.5	8	7
<b>Puntuación Total</b>	<b>1.0</b>	<b>72.5</b>	<b>78</b>	<b>82.25</b>	<b>80</b>	<b>82</b>

*Elaboración Propia.*

Los resultados de la evaluación por Factores Ponderados para la selección de la tarjeta de desarrollo revelaron que el modelo Raspberry Pi 3B+ es la mejor opción para el trabajo de investigación.

Una vez seleccionada la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, y disponiendo de la cámara NoIR V2 con el lenguaje de programación Python, se procedió a realizar un programa de prueba para analizar el consumo de la cámara y observar su comportamiento. De esta manera se midió el nivel de fluidez de los componentes conectados antes mencionados para validar su funcionamiento.

## Nivel de fluidez

- El primer paso fue determinar el nivel de fluidez que existe en la conexión entre la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ con la cámara NoIR en modo RGB, es decir, sin utilizar

filtros. Para esto se evaluaron dos variables: La primera es el Consumo del CPU (%) obtenido del rendimiento de la tarjeta Raspberry. Y la segunda, la Corriente (Amperios) obtenido de la medición en el USB Tester conectado en la entrada del suministro de energía eléctrica de la tarjeta Raspberry. Todo este monitoreo se realizó en un intervalo de 10 minutos con una muestra por cada minuto transcurrido en el tiempo.

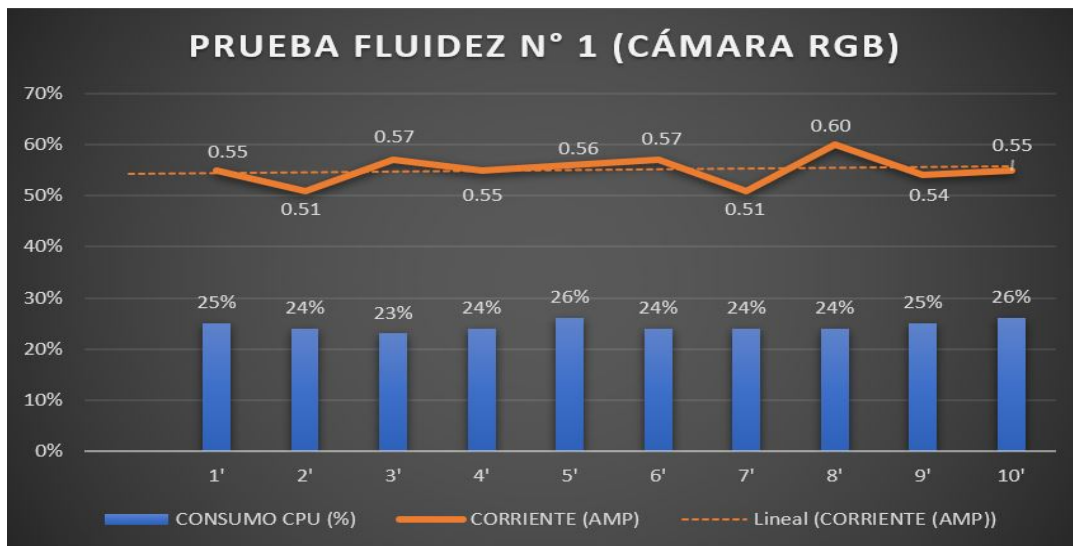


Figura 15. Comportamiento del consumo del CPU (%) y de la corriente (Amp.) a través del tiempo en la Prueba de Fluidez N° 1 con la cámara RGB.  
Elaboración Propia.

Después se procedió a hacer un cálculo para determinar el promedio del consumo de CPU (%) y de corriente (Amperios) durante 10 minutos, generando las siguientes tendencias:

$$\overline{CPU(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n CPU_i}{n} = 24.5\%$$

$$\overline{Corriente(Amp)} = \frac{\sum_{i=1}^n Corriente_i}{n} = 0.55 \text{ Amp}$$

Donde: n = Número de iteraciones.

La tarjeta de desarrollo Raspberry y la cámara NoIR en modo RGB en promedio tiene una tendencia a consumir el 24.5% del CPU; también se determinó que el uso de estos componentes en promedio tiene una tendencia en corriente de 0.55 Amperios. Lo que quiere decir que este consumo de energía sólo es para el uso de la cámara en estado normal. Por lo tanto, fue necesario evaluar el consumo de energía para cada filtro en el procesamiento de

imágenes, y así elegir la combinación de filtros de menor consumo para mejorar el tiempo de respuesta en la detección de bordes y la duración de las baterías.

- El segundo paso fue determinar el nivel de fluidez que existe en la conexión entre la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ con la cámara NoIR en modo RGB y utilizando el filtro de detección de bordes Canny, que está dentro de las conclusiones de (Martínez, 2017, p. 81). Para esto también se evaluaron dos variables: La primera es el Consumo del CPU (%) obtenido del rendimiento de la tarjeta Raspberry. Y la segunda, la Corriente (Amperios) obtenido de la medición en el USB Tester conectado en la entrada del suministro de energía eléctrica de la tarjeta.

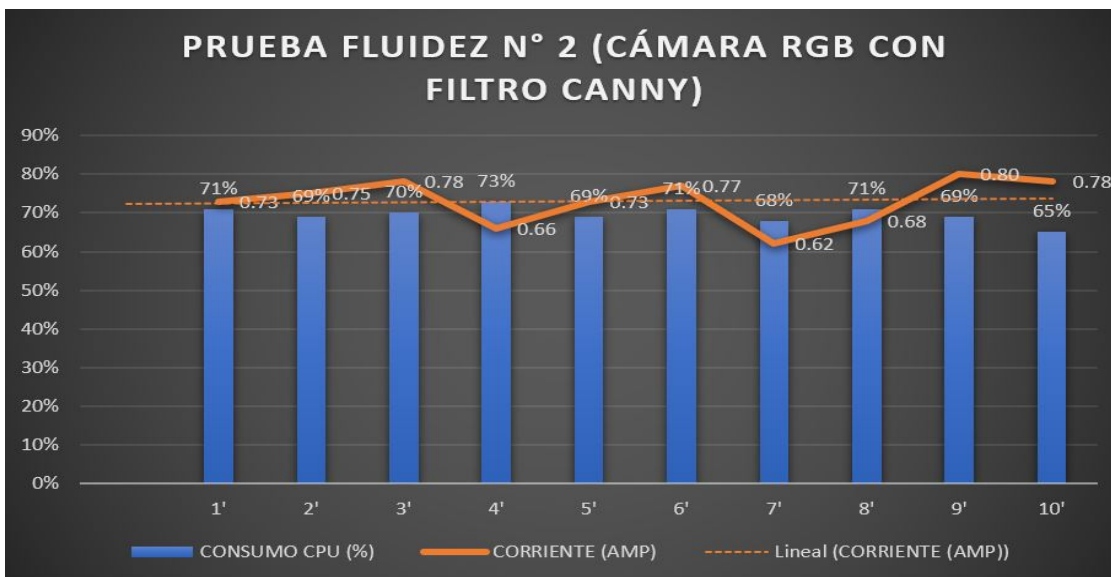


Figura 16. Consumo del CPU (%) y de la corriente (Amp.) en la Prueba de Fluidez N° 2 con la cámara RGB y el filtro Canny.

Elaboración Propia.

Después se procedió a hacer un cálculo para determinar el promedio del consumo de CPU (%) y de corriente (Amperios) durante 10 minutos, generando las siguientes tendencias:

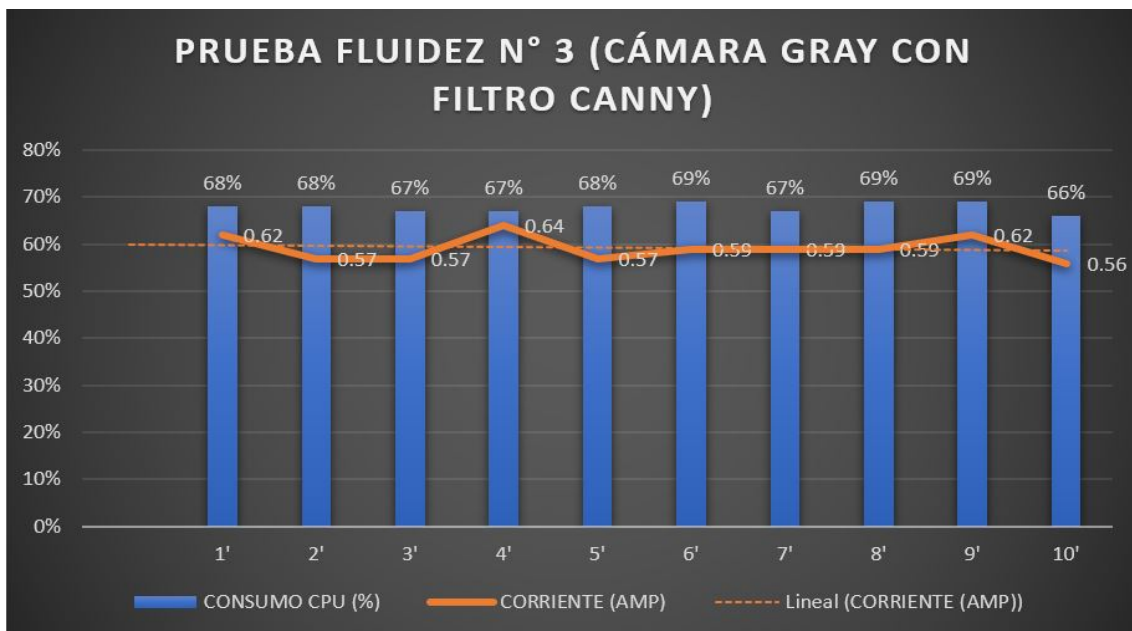
$$\overline{CPU(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n CPU_i}{n} = 69.6\%$$

$$\overline{\text{Corriente(Amp)}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Corriente}_i}{n} = 0.73 \text{ Amp}$$

Donde: n = Número de iteraciones.

La tarjeta de desarrollo Raspberry y la cámara NoIR en modo RGB utilizando el filtro de detección de bordes Canny en promedio tiene una tendencia a consumir el 69.6% del CPU; también se determinó que el uso de estos componentes en promedio tiene una tendencia en corriente de 0.73 Amperios. Lo que quiere decir que este consumo de energía fue la primera alternativa que mostró un estado de carga de procesamiento para el nivel de fluidez.

- El tercer paso fue determinar el nivel de fluidez que existe en la conexión entre la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ con la cámara NoIR V2 en modo Escala de Grises (GRAY) y utilizando el filtro de detección de bordes Canny. Para esto también se evaluaron dos variables: La primera es el Consumo del CPU (%) obtenido del rendimiento de la tarjeta Raspberry. Y la segunda, la Corriente (Amperios) obtenido de la medición en el USB Tester conectado en la entrada del suministro de energía eléctrica de la tarjeta.



Después se procedió a hacer un cálculo para determinar el promedio del consumo de CPU (%) y de corriente (Amp.) durante 10 minutos, generando las siguientes tendencias:

$$\overline{CPU(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n CPU_i}{n} = 67.8 \%$$

$$\overline{Corriente(Amp)} = \frac{\sum_{i=1}^n Corriente_i}{n} = 0.59 \text{ Amp}$$

Donde: n = Número de iteraciones.

La tarjeta de desarrollo Raspberry y la cámara NoIR en modo GRAY utilizando el filtro de detección de bordes Canny en promedio tiene una tendencia a consumir el 67.8% del CPU; también se determinó que el uso de estos componentes en promedio tiene una tendencia en corriente de 0.59 Amperios. Lo que quiere decir que este consumo de energía fue la segunda alternativa que mostró un estado de carga de procesamiento para el nivel de fluidez.

- El cuarto paso consistió en elegir entre las dos opciones el de menor consumo del CPU (%) y de Corriente (Amperios) para mejorar el tiempo de respuesta en la detección de bordes y la duración de las baterías.

Tabla 5. Comparación de los resultados de las dos alternativas del consumo del CPU y de la corriente.

CONDICIÓN ÓPTIMA DEL USO DE LA CÁMARA (CPU=24.5% y Corriente=0.55Amp)			
Consumo	Cámara RGB y Filtro Canny	Valoración	Cámara GRAY y Filtro Canny
CPU (%)	69.6%	>	67.8%
Corriente (Amp)	0.73 Amperios	>	0.59 mperios

Elaboración propia.

Con ayuda de la valoración del nivel de fluidez se evidenció que el menor consumo en el rendimiento del CPU y la menor corriente eléctrica, ambas en la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, es usar la segunda alternativa, es decir, se decidió utilizar

la cámara NoIR V2 en modo escala de grises (GRAY), y con el filtro de detección de bordes Canny para el desarrollo del sistema guía del presente trabajo de investigación.

El filtro Canny para la detección de bordes fue programado en lenguaje de Python con ayuda de las librerías de OpenCV, el siguiente proceso consiste en sintonizar la cantidad de información de imagen con el filtro Canny para detectar los bordes de los obstáculos y evitar el ruido por la presencia de mucha información.

## Sintonización de parámetros del filtro Canny

Para esta sección fue necesario encontrar los valores de los parámetros Right y Left para el comando Canny dentro de OpenCV, esto permitió detectar la gradiente en el contorno de cada forma mostrada en la imagen detectada por la cámara.

La línea de comando usada para el filtro Canny en la detección de bordes es la siguiente: "cv2.Canny (blur, 'Valor de Right', 'Valor de Left')". Se tomó en consideración que para la sintonización de estos parámetros sea necesaria la presencia de la luz del sol dentro del espacio de prueba como referencia al mayor ruido al que puede estar expuesta la cámara NoIR.

También se consideró que los valores de estos parámetros se ubican en un intervalo de trabajo de 0 a 255 debido a que el último número es el valor máximo en que se puede representar un byte de información (ocho bits con valor 11111111 en sistema binario y 255 en sistema decimal), cabe mencionar que los colores pueden ser identificados con la combinación RGB en el intervalo mencionado [0, 255].

- La primera prueba se realizó con los valores máximos y mínimos para los parámetros (Right, Left). Donde se detectó mucho ruido en el filtro Canny con los valores mínimos (0, 0) no siendo tan perceptible la definición de los bordes en la figura. En cambio, con los valores máximos (255, 255) se detectó poca información de la detección de bordes con el filtro Canny perdiendo la mayoría de las formas mostradas en la imagen, esto quiere decir que mientras el valor aumente al límite superior 255 se pierde información en la imagen, por el contrario, si el valor disminuye al límite inferior 0 se gana información en la imagen. Esta premisa fue utilizada para encontrar el valor adecuado de las gradientes en la detección de bordes. Por lo tanto, se decidió probar con la primera mitad del rango, tenemos (125, 125), donde se

observó más información de bordes en comparación con el límite superior y a la vez menos ruido que en el límite inferior, con el detalle de mejorar la definición de bordes se eligió trabajar en el nuevo intervalo definido como  $[0, 125]$ .

0

125

255

Primer intervalo (Elegido).	Segundo intervalo (No Elegido).



Figura 17. Filtro Canny con los parámetros  $(0, 0)$ ,  $(125, 125)$ , y  $(255, 255)$ .  
Elaboración Propia.



- Después se probó con el valor intermedio del nuevo intervalo  $[0, 125]$  resultando 63, entonces se probaron los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes con los valores (63, 63). Se observó una mejor ganancia de información en los bordes en comparación con su límite superior, es por ello que se eligió trabajar en el nuevo intervalo definido como  $[0, 63]$  y así obtener información de los bordes de colores oscuros.

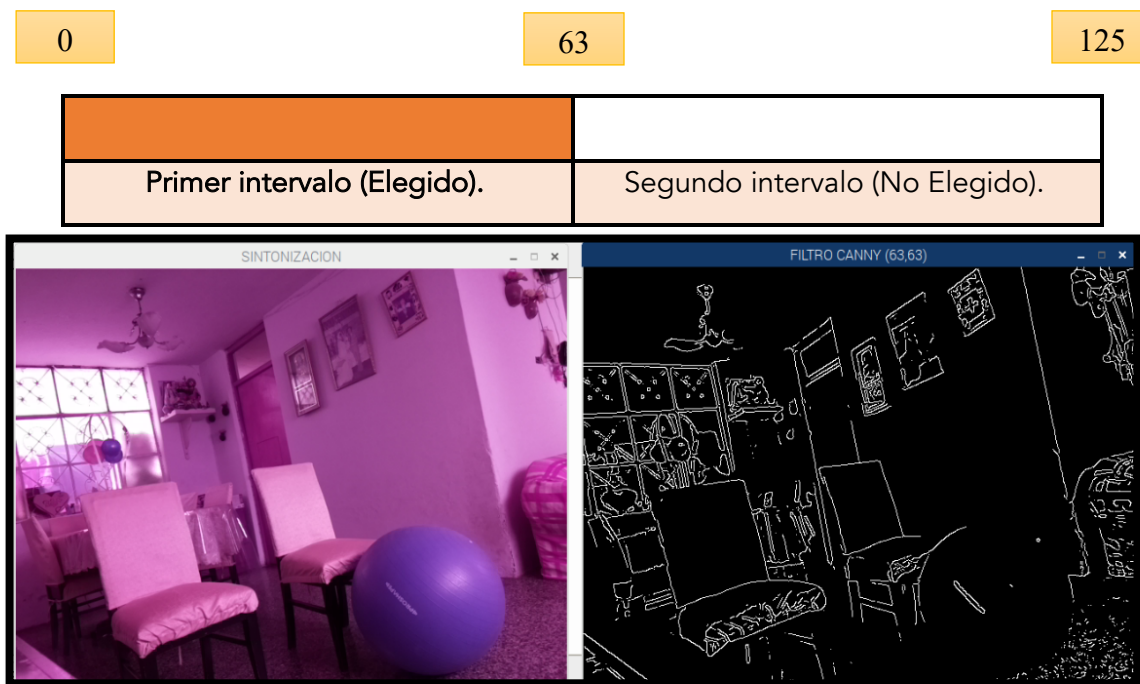


Figura 18. Filtro Canny con los parámetros (63, 63).  
Elaboración Propia.

- Luego se probó con el valor intermedio del nuevo intervalo  $[0, 63]$  resultando 32, entonces se probaron los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes con los valores (32, 32). Se observó otra vez una mejor ganancia de información en los bordes en comparación con su límite superior, pero a la vez generó ruido en los bordes, es por ello que se eligió trabajar en el segundo intervalo definido como  $[32, 63]$  para perder información y mejorar la definición de los bordes.

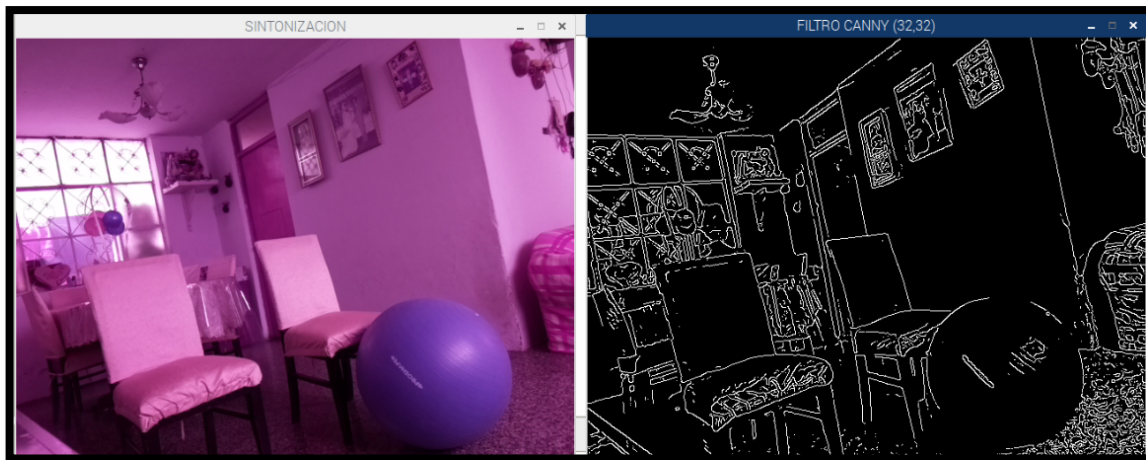
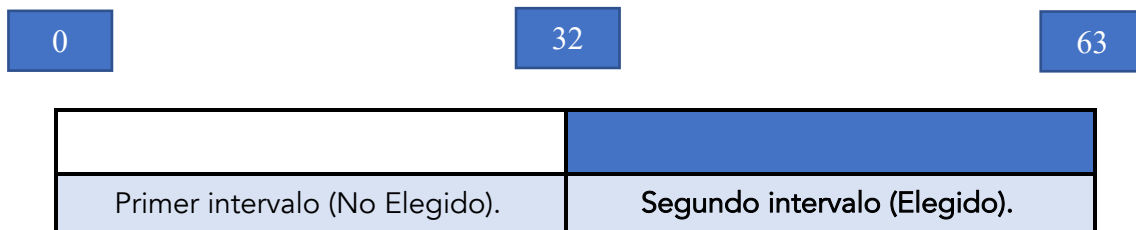


Figura 19. Filtro Canny con los parámetros (32, 32).  
Elaboración Propia.

- Posteriormente se probó con el valor intermedio del nuevo intervalo [32, 63] resultando 48, entonces se probaron los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes con los valores (48, 48). Se observó pérdida de información en los bordes en comparación con su límite inferior, pero aún se necesita perder ruido de bordes, es por ello que se eligió trabajar en el segundo intervalo definido como [48, 63] para perder información y mejorar la definición de bordes.

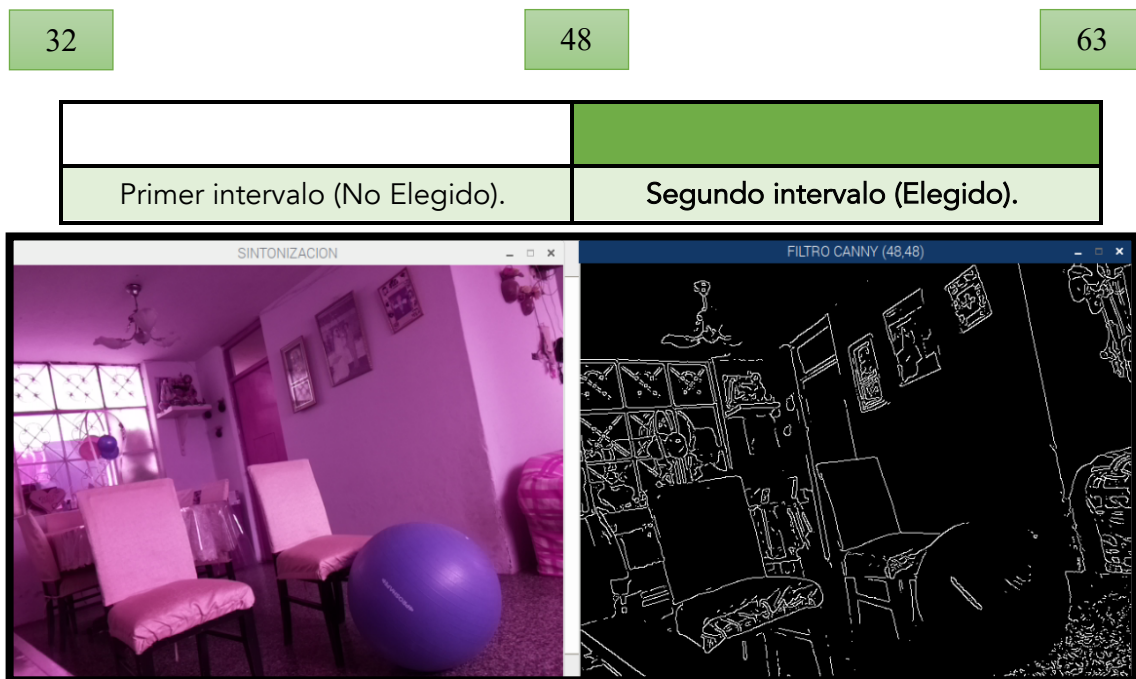


Figura 20. Filtro Canny con los parámetros (48, 48).

*Elaboración Propia.*

- En cuanto a la evaluación del nuevo intervalo [48, 63] se probó con el valor intermedio 55, entonces se probaron los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes con los valores (55, 55). Se observó pérdida de información en los bordes en comparación con su límite inferior, pero aún se puede mejorar la definición de bordes, se decidió trabajar en otro intervalo de [48, 55] para ganar información y mejorar la definición de bordes.

48	55	63
Primer intervalo (Elegido).	Segundo intervalo (No Elegido).	

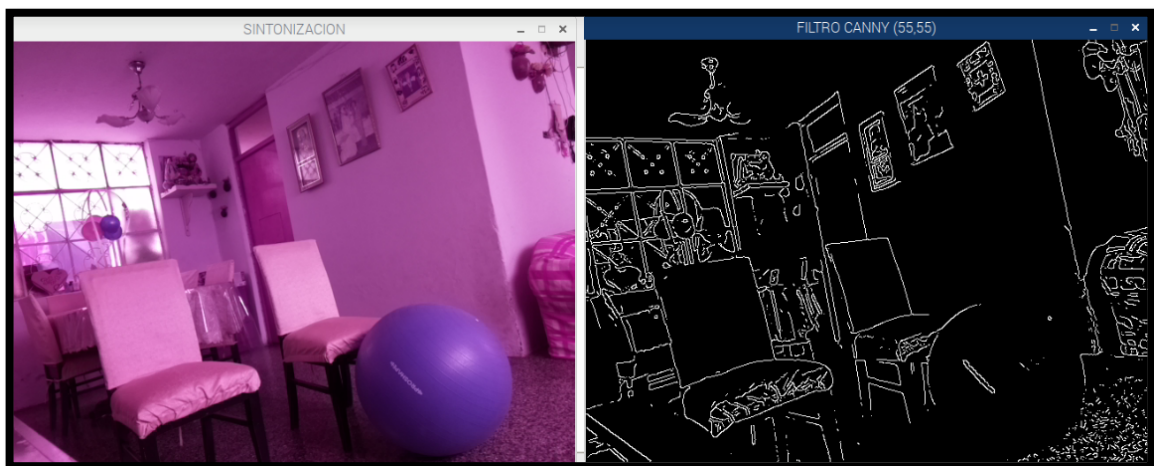


Figura 21. Filtro Canny con los parámetros (55, 55).  
Elaboración Propia.

- Luego se evaluó el nuevo intervalo [48, 55] con el valor intermedio de 51, entonces los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes es de (51, 51). Se observó ganancia de información en los bordes en comparación con su límite superior, aún este valor se aproxima a la definición de bordes, pero se decidió trabajar en otro intervalo de [51, 55] para perder información y lograr la definición de bordes.

48

51

55

Primer intervalo (No Elegido).	Segundo intervalo (Elegido).

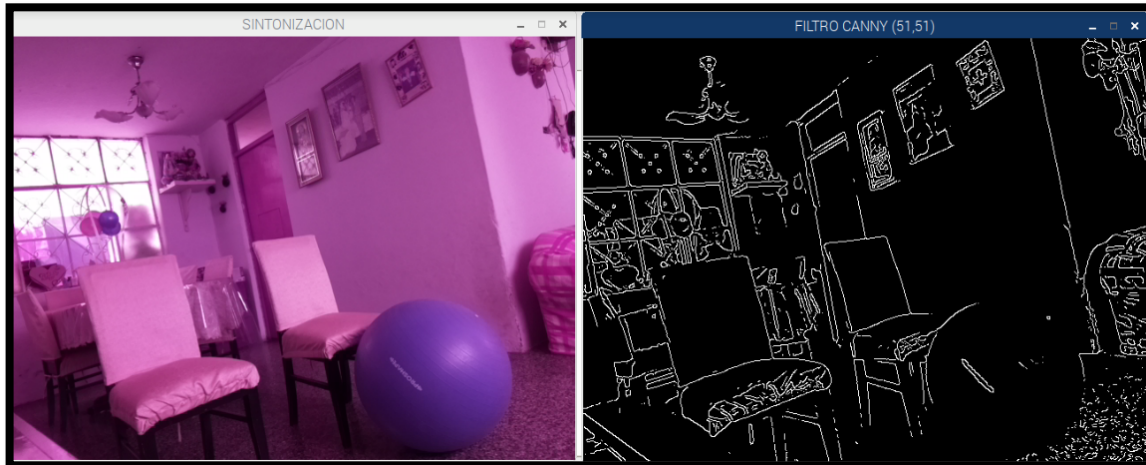


Figura 22. Filtro Canny con los parámetros (51, 51).  
Elaboración Propia.

- Después se probó el nuevo intervalo [51, 55] con el valor intermedio de 53, entonces los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes es de (53, 53). Se observó pérdida de información en los bordes en comparación con su límite inferior, aún este valor se aproxima a la definición de bordes, se decidió trabajar en otro intervalo de [51, 53] para perder poca información y lograr la definición de bordes.

51	53	55
Primer intervalo (Elegido).	Segundo intervalo (No Elegido).	

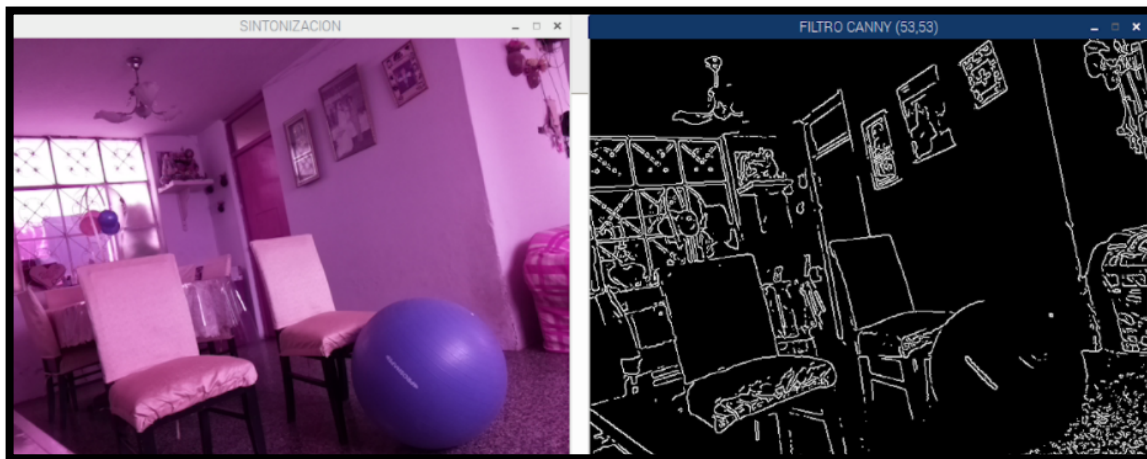


Figura 23. Filtro Canny con los parámetros (53, 53).  
Elaboración Propia.

- Finalmente se evaluó el nuevo intervalo [51, 53] con el valor intermedio de 52, entonces los parámetros para el efecto Canny en la detección de bordes quedó definida como (52, 52). Entonces quedó determinada la definición de bordes con el filtro Canny para la línea de comando en OpenCV.

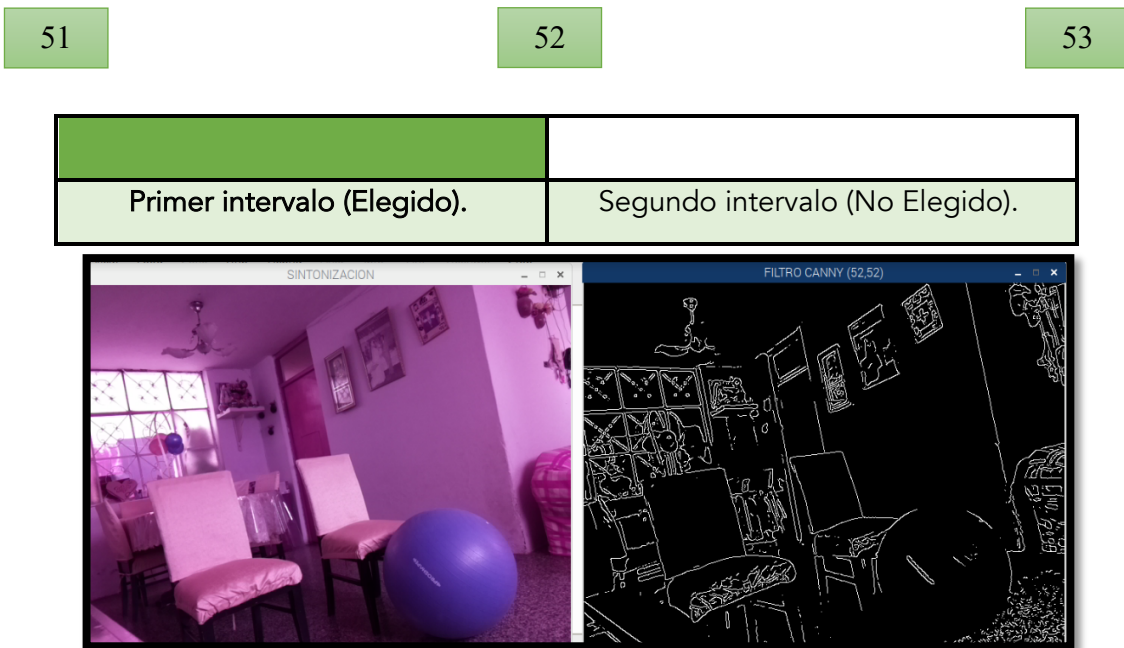


Figura 24. Filtro Canny con los parámetros (52, 52).  
Elaboración Propia.

La línea de comando determinado para el filtro Canny en la sintonización de detección de bordes es la siguiente: "cv2.Canny (blur, 52, 52)". Por lo que el siguiente paso consistió en la detección de obstáculos con los parámetros ya establecidos, se pudo trabajar con el área que la cámara detecta, cuyo fin es de analizar el espacio de trabajo y segmentar las zonas de estudio.



## Detección de obstáculos

- Para la detección de obstáculos, se partió del estudio de la perspectiva cónica, la cual permitió entender la relación que existe en las dimensiones de un objeto en el entorno real con las dimensiones a perspectiva de la cámara NoIR V2. Cabe mencionar que la cámara se situó en la zona frontal, en la parte superior de los huesos nasales del usuario como el Punto de Vista (PV) mostrada en la figura 25.

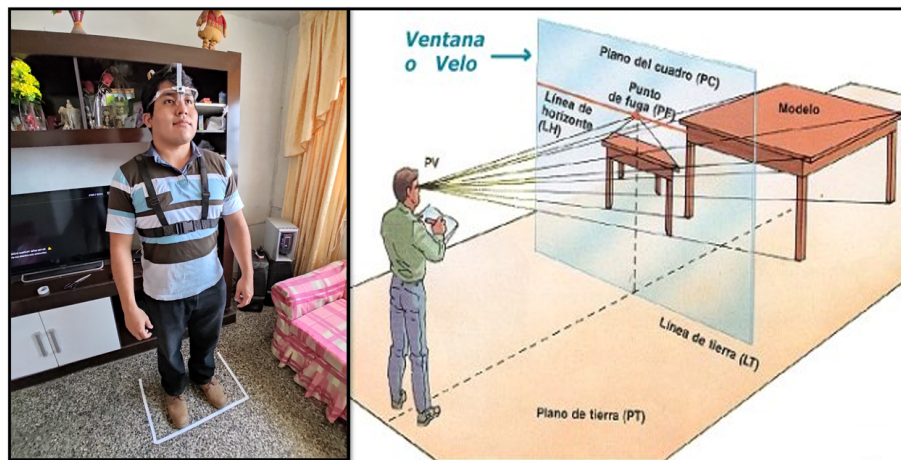


Figura 25. Perspectiva cónica de la cámara NoIR V2 como Punto de Vista.  
Elaboración Propia.

- Se procedió a detectar todos los obstáculos basándonos en sus bordes, para lo cual se determinó usar toda el área mostrada por la cámara NoIR V2 que tiene un tamaño de imagen de 640 x 480 píxeles.
- Después se generó un mensaje en pantalla que nos muestra el estado de la detección de formas geométricas en caso de encontrar o no los objetos.



Tabla 6. Mensaje en pantalla según el estado de la variable.

Estado de variable	Mensaje	Color del Mensaje
If Objetos == 0:	NO SE HA DETECTADO OBJETO.	Blanco
If Objetos >= 1:	SE HA DETECTADO OBJETO.	Verde

Elaboración propia.



Figura 26. Mensajes mostrados en pantalla según el estado de la variable.  
Elaboración Propia.

- Para la detección de los obstáculos se usó el filtro Canny con el cual se detectó los bordes de los obstáculos.

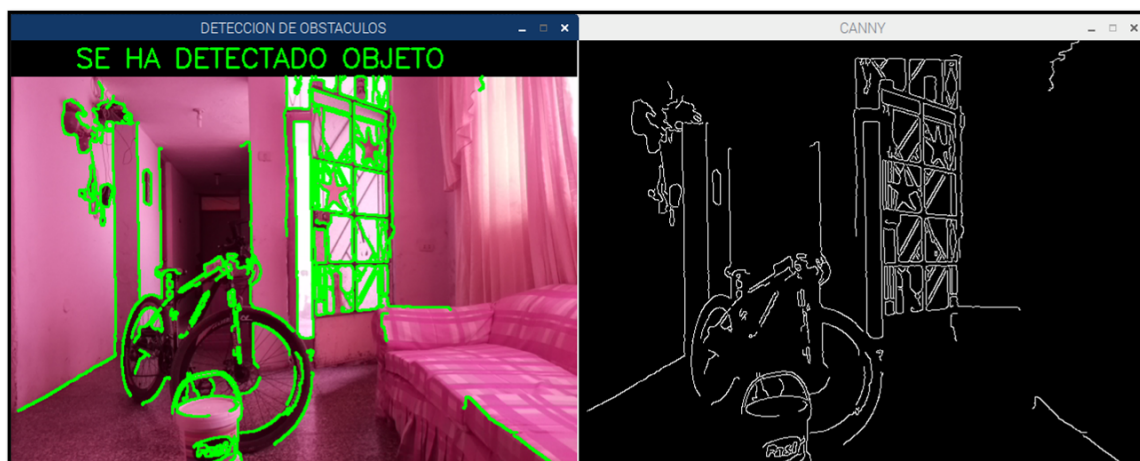


Figura 27. Detección de obstáculos con el filtro Canny.  
Elaboración Propia.

En la figura 27 se pudo observar el reconocimiento de bordes de obstáculos, por ejemplo, la bicicleta, el balde de pintura, parte del mueble, la puerta, adornos y las paredes. Esta última nos servirá de referencia para el desplazamiento del usuario en pasadizos, ya que estas se usaron como límites laterales, para ello se divide el área de estudio por segmentos, incluso en el siguiente paso se definió la zona de detección de obstáculos y su segmentación.

### Segmentación de las Zonas de Estudio

La zona de estudio es el área de protección al usuario que está comprendida por tres zonas principales, estas son la zona central, la zona lateral izquierda, y la zona lateral derecha.

Tabla 7. Segmentación de la zona de estudio.

ZONAS	DIMENSIONES	ÁREA
Zona Lateral Izquierda	1.9 m x 0.9 m	1.71 m <sup>2</sup>
Zona Central	1.9 m x 1.1 m	2.09 m <sup>2</sup>
Zona Lateral Derecha	1.9 m x 0.9 m	1.71 m <sup>2</sup>
Total	1.9 m x 2.9 m	5.51 m <sup>2</sup>

Elaboración Propia.

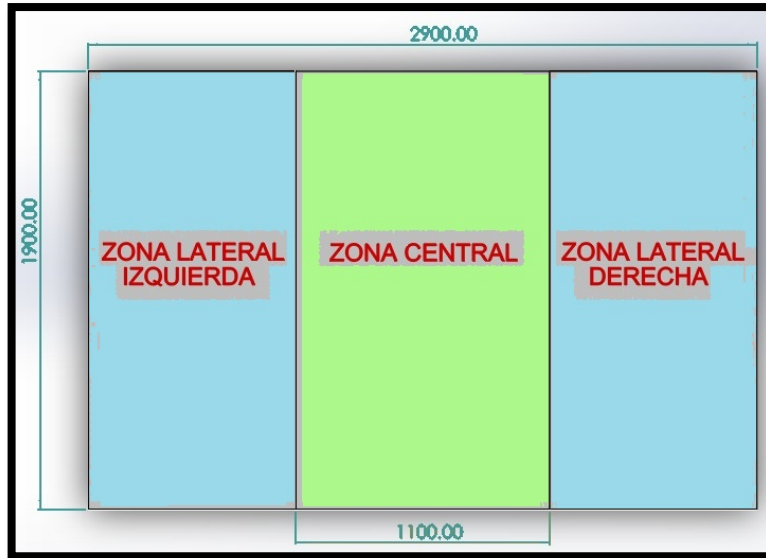


Figura 28. Representación gráfica de la segmentación del área de trabajo.  
Elaboración Propia.

Además, la zona central se subdivide en tres zonas descritas como la zona de riesgo, zona media y zona lejana.

- Se consideró una distancia de 0.6 m de tolerancia donde la cámara no detectará bordes para que el usuario pueda desplazarse y a la vez responda con éxito ante los obstáculos.
- El primer intervalo considerado como la zona de riesgo está comprendido entre las distancias de 0.6 m y 1.2 m respecto al usuario.
- El segundo intervalo considerado como la zona media está comprendido entre las distancias de 1.2 m y 1.8 m respecto al usuario.
- El tercer intervalo considerado como la zona lejana está comprendido entre las distancias de 1.8 m a 2.5 m respecto al usuario.
- El ancho del área frontal se consideró de 1.1 m porque es la suma de la distancia máxima entre los codos de una persona promedio con 0.9 m y la tolerancia de 0.1 m en cada brazo del usuario evitando futuras lesiones en la exposición máxima entre codos.

Tabla 8. Segmentación de la zona central.

ZONA CENTRAL	DIMENSIONES	ÁREA
Zona Lejana	0.7 m x 1.1 m	0.77 m <sup>2</sup>
Zona Media	0.6 m x 1.1 m	0.66 m <sup>2</sup>
Zona De Riesgo	0.6 m x 1.1 m	0.66 m <sup>2</sup>
TOTAL	1.9 m x 1.1 m	2.09 m <sup>2</sup>

Elaboración propia.

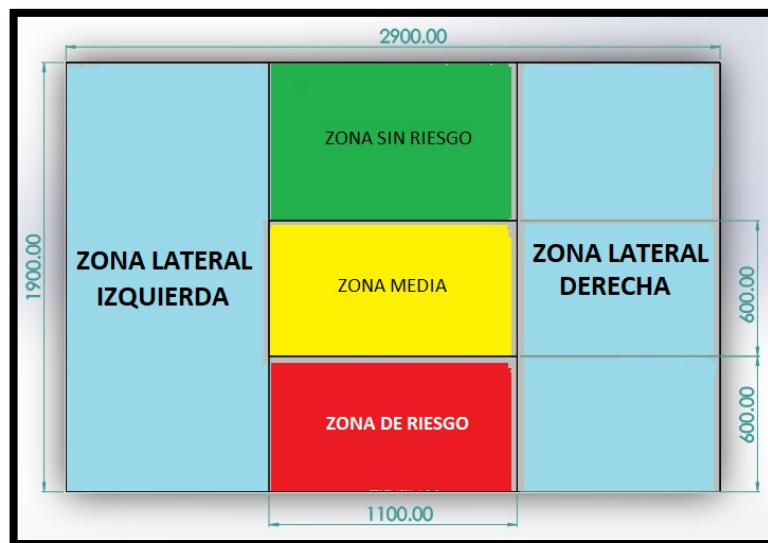


Figura 29. Representación gráfica de la Segmentación de la zona central.  
Elaboración Propia.

Una vez tomada la segmentación del área de estudio, se procede a ubicar los puntos de referencia desde el punto de vista de la cámara NoIR V2 que está conectada a la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, esta cámara se ubicó en la zona central de la frente, arriba del hueso nasal con ayuda de unos lentes de acrílico.



Figura 30. Croquis del área de estudio para la detección de obstáculos.  
Elaboración Propia.

Para la detección de obstáculos en la segmentación del área de estudio se hizo uso de la perspectiva cónica en relación con la cámara NoIR V2 que reemplaza al ojo humano. La representación geométrica cónica del área de estudio tomó la forma de un trapecio desde el punto de vista de la cámara.

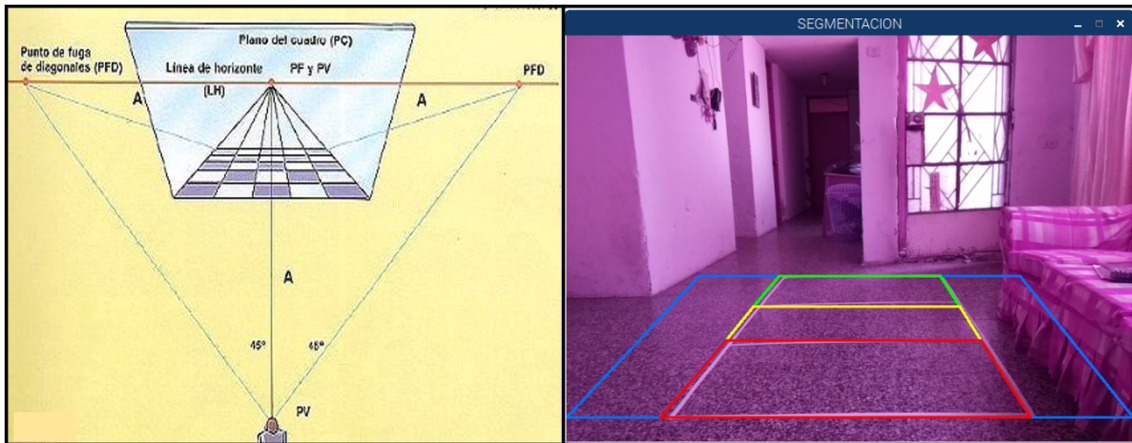


Figura 31. Perspectiva cónica de la segmentación del área de trabajo.  
Elaboración Propia.



Se utilizó un croquis guía en el plano del suelo para localizar las coordenadas de los vértices de las zonas laterales izquierda y derecha, zona central que comprende a la zona de riesgo, media y lejana, para la detección de obstáculos con el filtro Canny.

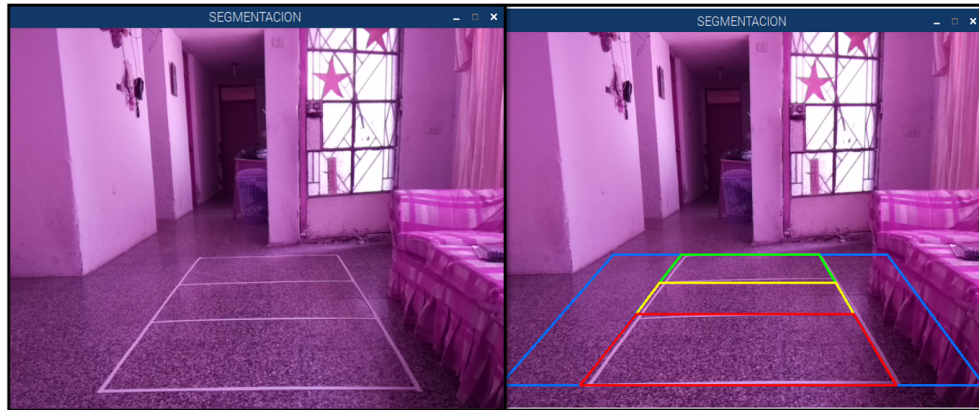


Figura 32. Comparación del croquis guía y la segmentación de la zona de estudio.  
Elaboración Propia.

Para hallar las coordenadas de los vértices se tomaron las siguientes consideraciones:

- El método usado fue de prueba y error.
- El punto de origen para la cámara NoIR V2 compatible con la tarjeta Raspberry Pi 3B+ está ubicada en la esquina superior izquierda.
- Las coordenadas tienen una relación directa con el número de píxeles de la cámara, el punto de origen es (0, 0) y el punto máximo ( $X_{\text{máx}}$ ,  $Y_{\text{máx}}$ ) es el punto (640, 480) siendo esta la resolución de cámara.
- Para tener un orden de vértices, el primer punto A de cada zona es la ubicada en la parte superior izquierda y para las siguientes se tomó en cuenta el sentido horario.

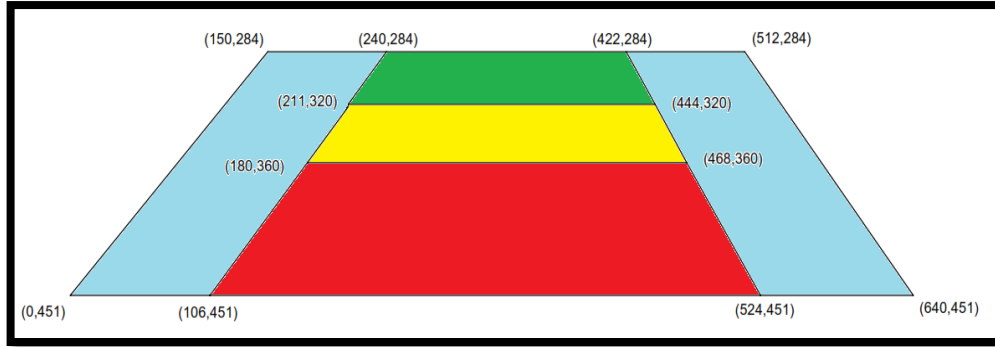


Figura 33. Coordenadas de los vértices de la segmentación del área de estudio.  
Elaboración Propia.

Tabla 9. Coordenadas de los vértices de la segmentación de la zona de estudio.

PLANO		COORDENADAS
Zona Lateral Izquierdo		A1 (000, 451)
		A2 (150, 284)
		A3 (240, 284)
		A4 (106, 451)
Zona De Riesgo		B1 (106, 451)
		B2 (180, 360)
		B3 (468, 360)
		B4 (524, 451)
Zona Central	Zona Media	C1 (180, 360)
		C2 (211, 320)
		C3 (444, 320)
		C4 (468, 360)
Zona Lejana		D1 (211, 320)
		D2 (240, 284)
		D3 (422, 284)
		D4 (444, 320)
Zona Lateral Derecha		E1 (524, 451)
		E2 (422,284)
		E3 (512, 284)
		E4 (640, 451)

Elaboración Propia.

Una vez hallada las coordenadas de los vértices de la segmentación del área de estudio descritos anteriormente, se les agregó en el código de Open CV para ejecutarlo con el filtro Canny y probar la detección de bordes de forma independiente a la zona en la que se encuentra.

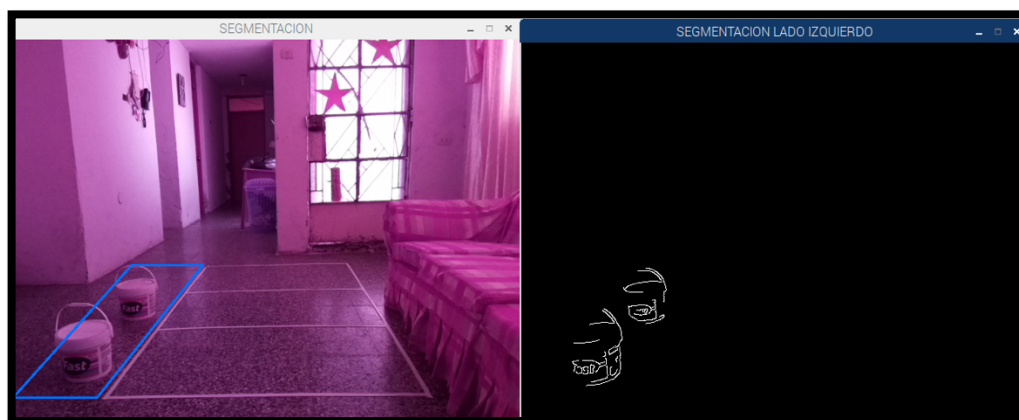


Figura 34. Filtro Canny para la detección de obstáculos en la zona lateral izquierda del área de estudio.

Elaboración Propia.

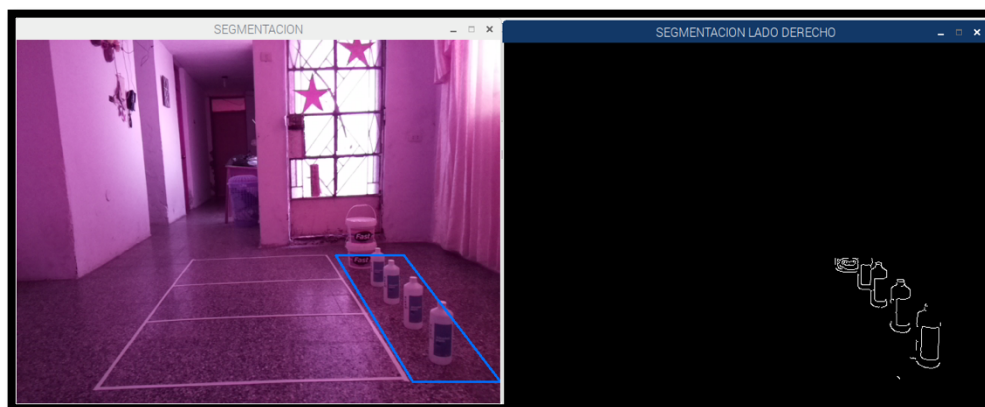


Figura 35. Filtro Canny para la detección de obstáculos en la zona lateral derecha.

Elaboración Propia.



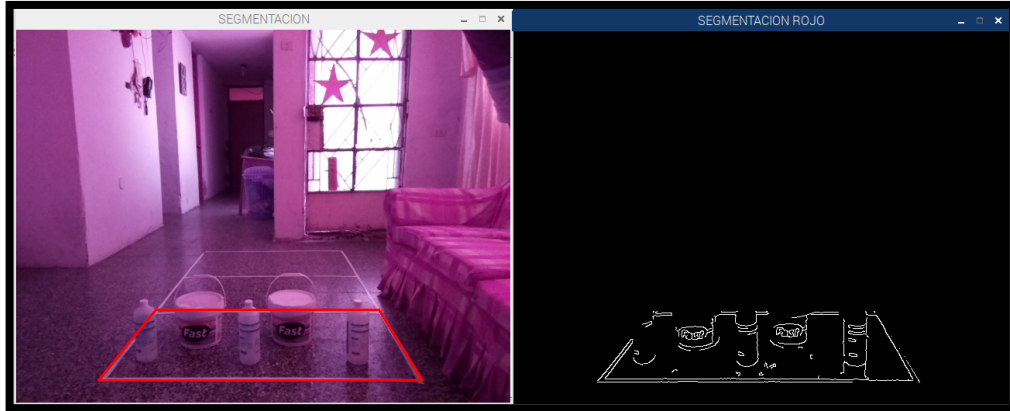


Figura 36. Filtro Canny para la detección de obstáculos en la zona central de riesgo.  
Elaboración Propia.

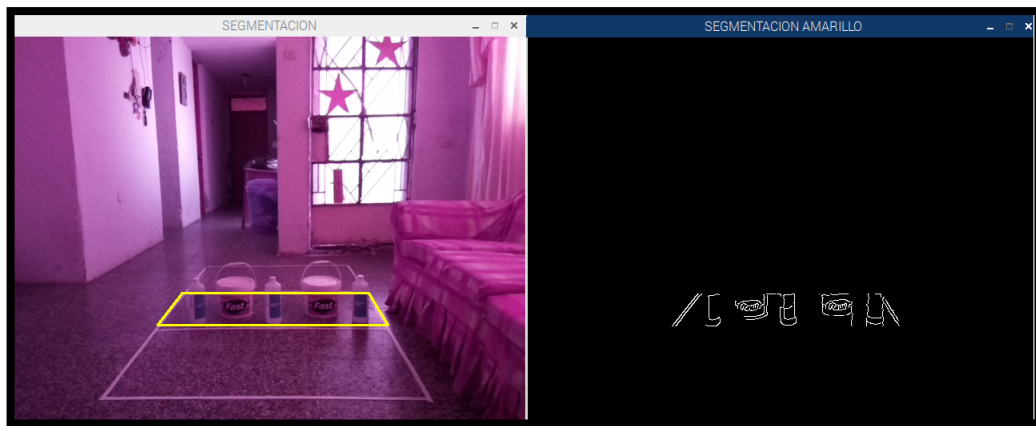


Figura 37. Filtro Canny para la detección de obstáculos en la zona central media.  
Elaboración Propia.

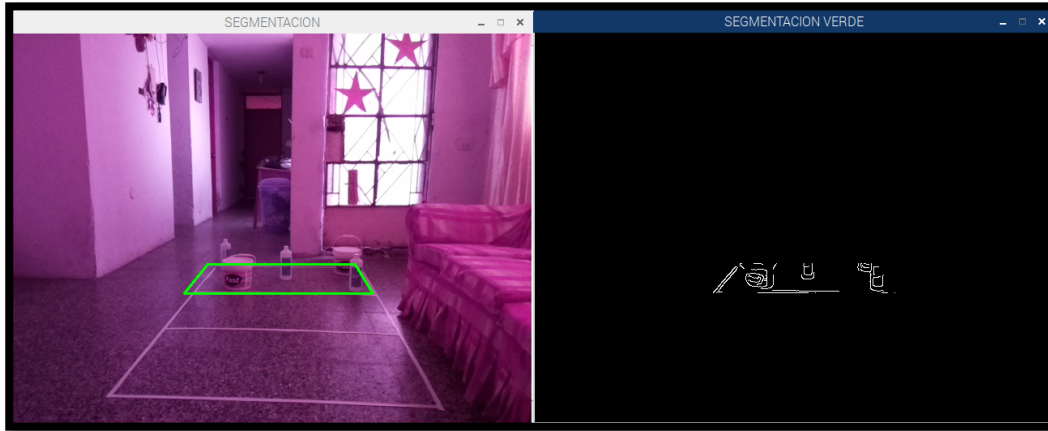


Figura 38. Filtro Canny para la detección de obstáculos en la zona central lejana.  
*Elaboración Propia.*

Una vez segmentada el área de estudio por las zonas antes descritas y después de aplicar el efecto Canny para la detección de obstáculos, el siguiente paso fue desarrollar la programación para la intersección de los obstáculos encontrados con el fin de que el sistema de procesamiento de imágenes interprete si se ha detectado o no obstáculos independientemente de la zona en la que se detecte.

### Intersección de los obstáculos encontrados

En esta sección se combinó los dos métodos anteriormente desarrollados, la detección de obstáculos y la segmentación del área de estudio, los cuales dieron por resultado la identificación de los obstáculos por cada zona independiente.

- Se aplicó la detección de obstáculos limitándolo sólo a la zona lateral izquierda pudiendo detectar 02 baldes de pintura, además del borde de la pared, la que nos ayudó como referencia para indicar la existencia de un pasadizo.
- También se aplicó la detección de obstáculos limitándolo sólo a la zona lateral derecha pudiendo detectar el borde de la cortina, el borde inferior de la puerta, además del borde

de la pared de la esquina, la que nos ayudó como referencia para indicar que existe un obstáculo, en este caso la pared.



Figura 39. Intersección de obstáculos encontrados en la zona lateral izquierda y derecha.  
Elaboración Propia.

- Después se procedió a aplicar la detección de obstáculos limitándolo sólo a la zona lejana de color verde pudiendo detectar el borde de la puerta, además del borde de la pared hasta la esquina, la que sirvió como referencia para indicar que existe un obstáculo, en este caso la puerta y la pared.
- Por consiguiente, también se aplicó la detección de obstáculos limitándolo sólo a la zona media de color amarilla sin detectar el borde de obstáculos debido a la falta de presencia de los mismos, entonces el sistema envía mensaje de que no se ha detectado obstáculo.
- Por último, se aplicó la detección de obstáculos limitándolo sólo a la zona de riesgo de color rojo pudiendo detectar el borde de la caja, la que sirvió como referencia para indicar que existe un obstáculo, en este caso la pequeña caja que está cerca del usuario.



Figura 40. Intersección de obstáculos encontrados en la zona central para sus divisiones central lejana, central media y central de riesgo.

Elaboración Propia.

Se puede decir que el proceso de intersección en la detección de obstáculos ha sido segmentado según el tipo de zona en la que se encuentre el obstáculo, luego se programó el envío de la señal PWM al motor vibratorio central, y las diferentes señales de los laterales para los otros dos motores vibratorios, todo esto a través del módulo GPIO de la tarjeta Raspberry, quedando ilustrado de la siguiente manera.

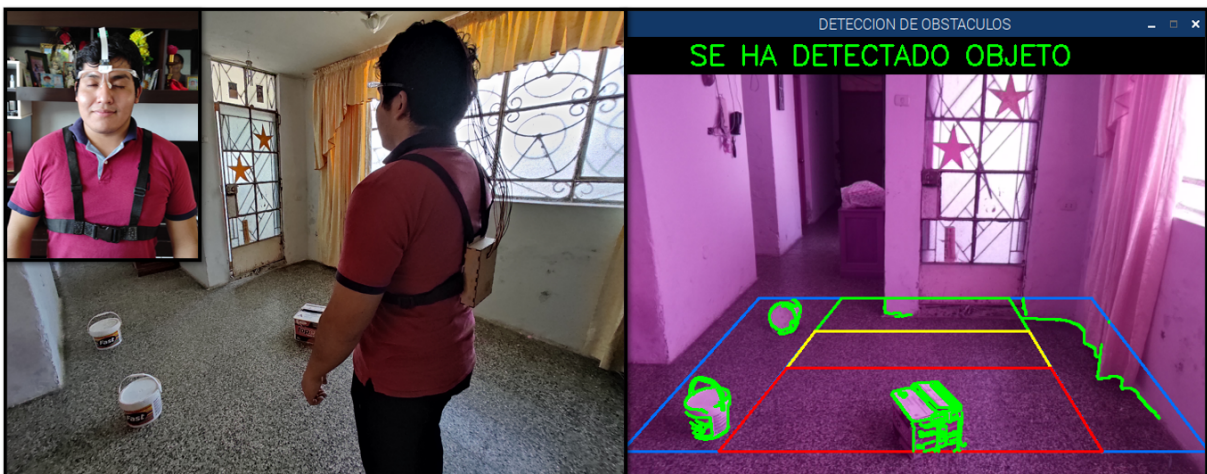


Figura 41. Ilustración de la intersección de los obstáculos encontrados.

Elaboración Propia.

Una vez desarrollado el sistema de procesamiento de imágenes basado en un controlador Raspberry para localizar obstáculos para personas ciegas en espacios controlados, el siguiente paso es diseñar la red de comunicación unidireccional entre el controlador y los

elementos vibratorios para mantener la respuesta de los datos en tiempo real, con el fin de que el usuario del sistema guía identifique las vibraciones para su desplazamiento en un espacio controlado.

## Diseño de la Red de Comunicación Unidireccional entre el Controlador y los Elementos Vibratorios para Mantener la Respuesta de los Datos en Tiempo Real

Para diseñar la red de comunicación unidireccional entre el controlador y los elementos vibratorios para mantener la respuesta de los datos en tiempo real se diseñó el interruptor lógico para enviar el tipo de pulso (PWM) según las zonas de estudio.

### Análisis de Resistencia Interna de Motor

El análisis se realizó sin carga mecánica en el motor (girando en el aire), se hizo uso de una fuente de voltaje de 5.115 Volts, además se colocó un Multímetro en serie en función de Amperímetro para determinar la corriente que circula hacia el motor, encontrándose una corriente de 115mA. Entonces para encontrar la resistencia interna del motor se hizo uso de la Ley de Ohm, podemos deducir que la resistencia interna del motor es de 44.3  $\Omega$ .

$$R_{motor}(\Omega) = \frac{V (Volt)}{I (Amp)} = \frac{5.115 V}{115mA} = 44.3\Omega$$



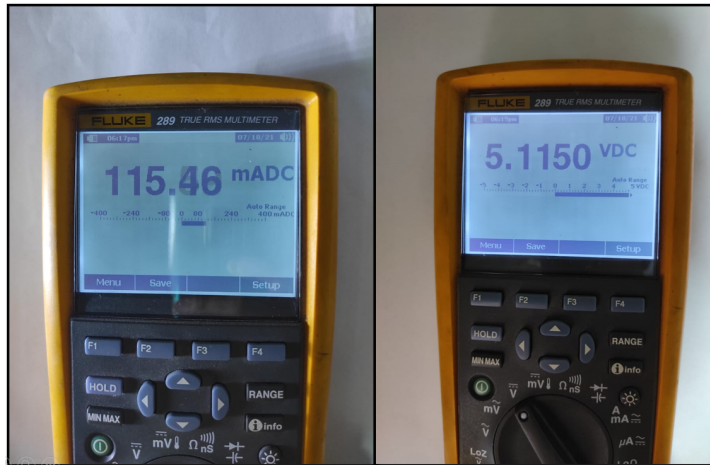


Figura 42. Toma de valores para el análisis de la resistencia interna del motor.  
Elaboración Propia.

Una vez determinada la resistencia interna del motor vibrador, debido a que en el ejercicio el motor trabajó con una corriente máxima de 115mA. Y sólo se pretende trabajar con el 75%, siendo esta la corriente de 86.6mA, se pudo encontrar la resistencia total con el valor de 59 Ω.

$$Resistencia\ total = \frac{5.115\ V}{86.6\ mA} = 59\ \Omega$$

Como inicialmente la resistencia interna del motor es de 44.3 Ω, esto significa que se tuvo que agregar una resistencia limitadora ( $R_L$ ) para completar la resistencia total, entonces se tuvo la expresión:

$$R_L = 59\ \Omega - 44.3 = 14.7\ \Omega$$

Entonces la resistencia limitadora que permite trabajar a un 75% de la corriente máxima es de 14.7 Ω, y el valor de la resistencia comercial que se aproxima es de 10 Ω.

$$R_L = 10\ \Omega$$

## Diseño del Interruptor Lógico

Se diseñó el circuito electrónico como interruptor lógico, el cual trabaja en el área de corte y saturación del transistor, para ello se definió los voltajes con los que se laboró, además de las características principales del transistor a usar, en este caso tenemos el transistor de tipo NPN 2N2222A de tipo superficial SMD (encapsulado SOT-23) y un diodo 1N4001 de protección, se tuvieron las siguientes condiciones de trabajo iniciales:

$$V_{CC} = V_{BB} = 5 \text{ voltios}$$
$$Q_4 = 2N2222A$$
$$\beta = 50 \text{ (ganancia del transistor)}$$

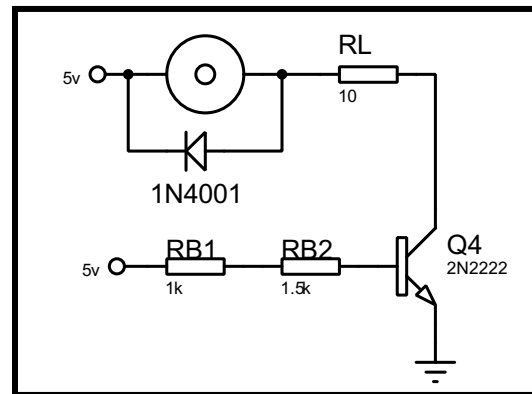


Figura 43. Circuito típico para el transistor 2N2222A.

Elaboración Propia.

- **Análisis en Saturación:** Para este análisis se consideró el modelo del circuito electrónico mostrado en la figura 43. Para satisfacer el estado de saturación se debe tener en cuenta la fórmula de la ganancia referente al análisis del transistor en emisor común.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Como se tuvo que la corriente circula por el motor es de 86.6 mA entonces  $I_C = 86.6 \text{ mA}$ , tenemos:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{86.6 \text{ mA}}{50} = 1.732 \text{ mA}$$

Analizando la primera malla en la base del transistor se tiene que:

$$\begin{aligned}V_{BB} &= V_{RB} + V_{Diodo} \\5V &= I_B * R_B + 0.7V \\R_B &= \frac{5V - 0.7V}{1.732mA} = \frac{4.3V}{1.732mA} \\R_B &= 2,482.68 \Omega\end{aligned}$$

Se obtuvo una resistencia  $R_B$  de  $2,5 \text{ k}\Omega$ , pero se usó dos resistencias en serie de valores comerciales de  $1 \text{ k}\Omega$  encapsulado en SMD y de  $1,5 \text{ k}\Omega$  en TH.

$$R_{B1} = 1 \text{ k}\Omega \quad \Lambda \quad R_{B2} = 1.5 \text{ k}\Omega$$

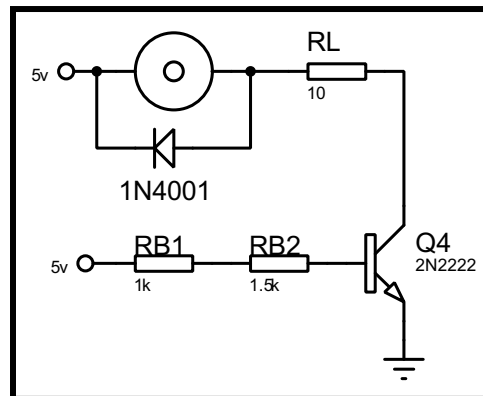


Figura 44. Circuito típico con valores finales para el transistor 2N2222A.  
Elaboración Propia.

- **Análisis en Corte:** En esta área se necesita que la corriente en la base sea de  $0 \text{ mA}$ , es decir, ausencia de voltaje en  $V_{BE}$  (Estado Off).

Entonces podemos decir que las resistencias de base y de colector tienen los valores de:

$$R_B = 2.5 \text{ k}\Omega \quad \text{y} \quad R_L = 10 \Omega$$



Una vez encontrado los valores se procede a diseñar la placa electrónica, en este caso los componentes a usar son de tipo Surface Mounted Device (SMD), debido a que estos componentes son pequeños para disminuir el área de la unidad de procesamiento informático.

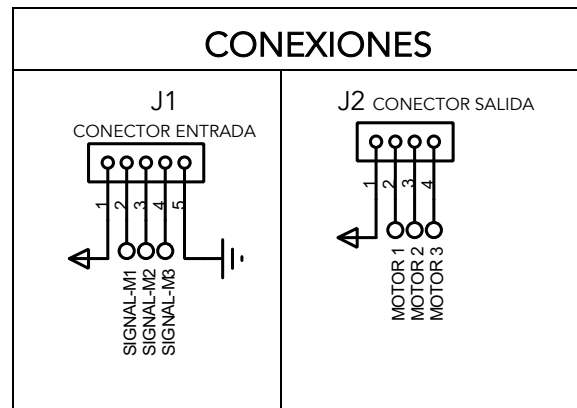


Figura 45. Diseño de las conexiones de entradas y salidas del interruptor lógico.  
Elaboración Propia.

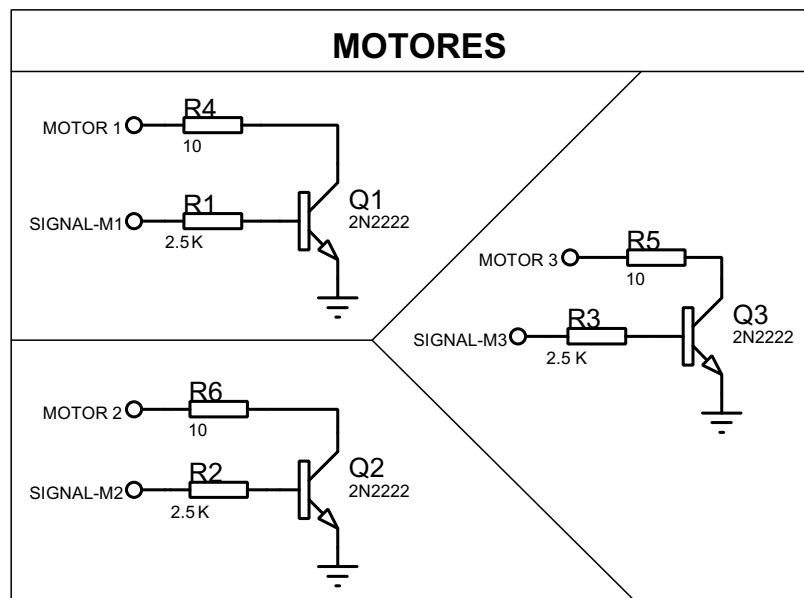


Figura 46. Circuito esquemático del interruptor lógico.  
Elaboración Propia.

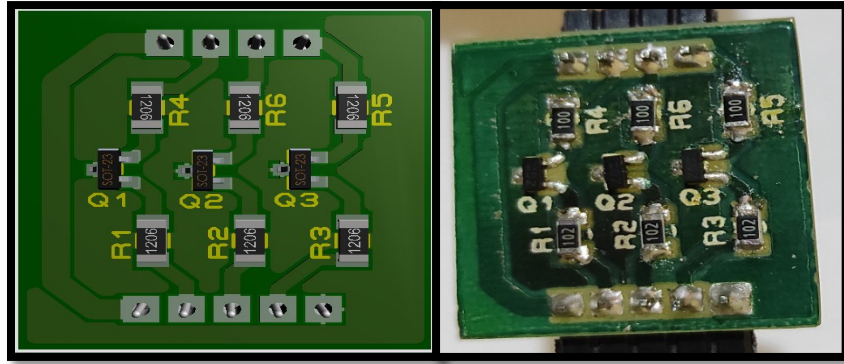


Figura 47. Diseño PCB del lado TOP del interruptor lógico.  
Elaboración Propia.

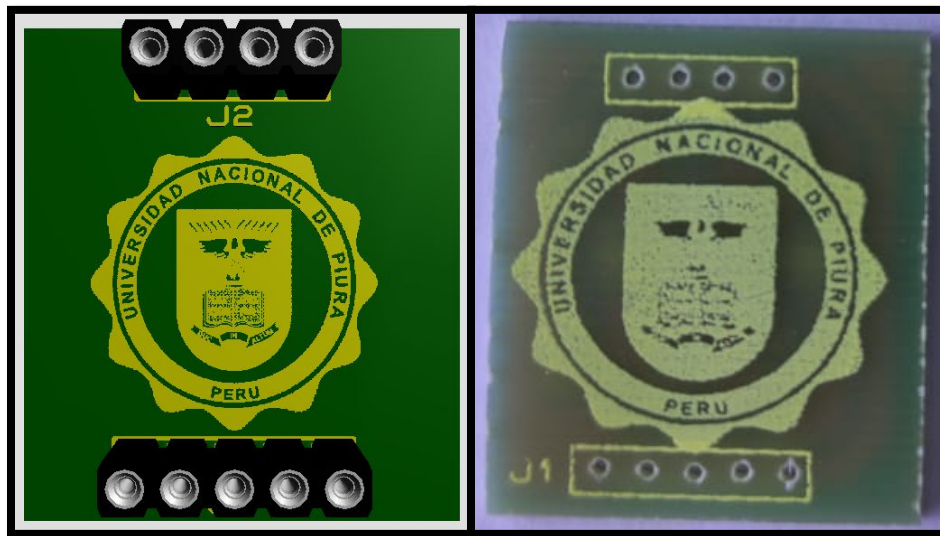


Figura 48. Diseño PCB del lado BOTTOM del interruptor lógico.  
Elaboración Propia.

Una vez diseñada la placa electrónica se programó el módulo GPIO de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ para enviar el tipo de pulso (PWM) según la segmentación de la zona central a su motor correspondiente, y la señal a los motores de los laterales a los motores vibratorios.

## Envío del Tipo de Pulso, según las Zonas de Estudio

Inicialmente se configura el pin número 18 de la placa de desarrollo Raspberry como una salida de tipo PWM y una frecuencia de trabajo mínima de 50 Hz para el transistor NPN 2N2222A, ya que esta tiene componentes que generan PWM por Hardware, luego debemos modificar el ciclo de trabajo para cada zona detectada.

p.ChangeDutyCycle(dc)

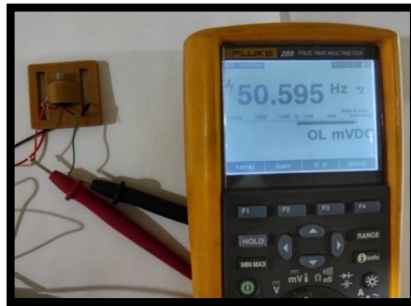


Figura 49. Motor vibrador funcionando con frecuencia de 50 Hz.  
Elaboración Propia.

Se consideraron tres valores de ciclo de trabajo para cada subdivisión de la Zona Central, para mantener la respuesta en la red de comunicación unidireccional, siendo estos:



Figura 50. Medición del voltaje obtenido según el ciclo de trabajo del motor vibrador.  
Elaboración Propia.

Tabla 10. Tipo de pulso según las subdivisiones de la zona central.

ZONA CENTRAL	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CICLO DE TRABAJO	CORRIENTE DE TRABAJO (mA)	TENSIÓN OBTENIDA (V)
Zona De Riesgo	Rojo (0.66)	90%	77	3.33
Zona Media	Amarillo (0.66)	60%	55	2.37
Zona Lejana	Verde (0.77)	40%	38	1.67

*Elaboración propia.*

Para la comunicación entre la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ y el actuador motor central vibratorio se utilizó el siguiente código en Lenguaje Python con la configuración en el pin N° 33.

#### **#Configuración de los puertos**

```
Import time
Import RPi.GPIO as GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(33, GPIO.out)
m = GPIO.PWM(33, 50)
m.start(0)
```

Esta función nos permite modificar los ciclos de trabajo para cada zona.

Tabla 11. Código de programación para cada segmentación de la zona central.

ZONA CENTRAL	CÓDIGO PARA EL CICLO DE TRABAJO
Zona de riesgo	p.ChangeDutyCycle(90)
Zona media	p.ChangeDutyCycle(60)
Zona lejana	p.ChangeDutyCycle(40)

*Elaboración Propia.*

Además, se utilizó el siguiente código para enviar los pulsos de encendido (ON) o apagado (OFF) hacia los motores vibratorios laterales en los pines N° 29 y 31, teniendo en cuenta que se debe configurar al pin de la placa de desarrollo que se emplea.

```
GPIO.setup(29, GPIO.OUT)
```

```
GPIO.setup(31, GPIO.OUT)
```

Tabla 12. Código de programación para cada estado del motor vibrador.

ESTADO DE MOTOR	CÓDIGO PARA ESTADO DE MOTOR
Encendido	GPIO.output(pin, GPIO.HIGH)
Apagado	GPIO.output(pin, GPIO.LOW)

*Elaboración propia.*

Una vez determinado el código de programación para la red de comunicación unidireccional de la entre el controlador y los elementos vibratorios para cada segmentación de la zona central correspondientemente a su ciclo de trabajo, y también para cada estado del motor para la detección de obstáculos, se procedió a diseñar el equipo portador de la unidad de procesamiento informático con el fin de que el proyecto fuese portátil, y realizar las pruebas correspondientes del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados.

## Diseño del Equipo Portador de la Unidad de Procesamiento Informático

La unidad de procesamiento informático del sistema guía necesitó una carcasa portadora, es por ello que se procedió al diseño del equipo portador. Para ello, se necesitó determinar el valor del consumo eléctrico total del equipo en mAh.

### Análisis del Consumo Eléctrico

Para el dimensionamiento de baterías, fue necesario realizar pruebas de funcionamiento durante un tiempo total de 8 horas de procesamiento de imágenes detectando obstáculos con las áreas segmentadas anteriormente calculadas. También se realizó una prueba de funcionamiento en un tiempo de 8 horas de comunicación unidireccional con los elementos vibratorios.

- **Análisis del Consumo Eléctrico por el Procesamiento de Imágenes**

El consumo por procesamiento de imágenes fue analizado con la prueba de funcionamiento para la detección de obstáculos en las áreas segmentadas tomando muestras del consumo producido por cada media hora de procesamiento, con el fin de obtener un consumo promedio de mAh/Hr.

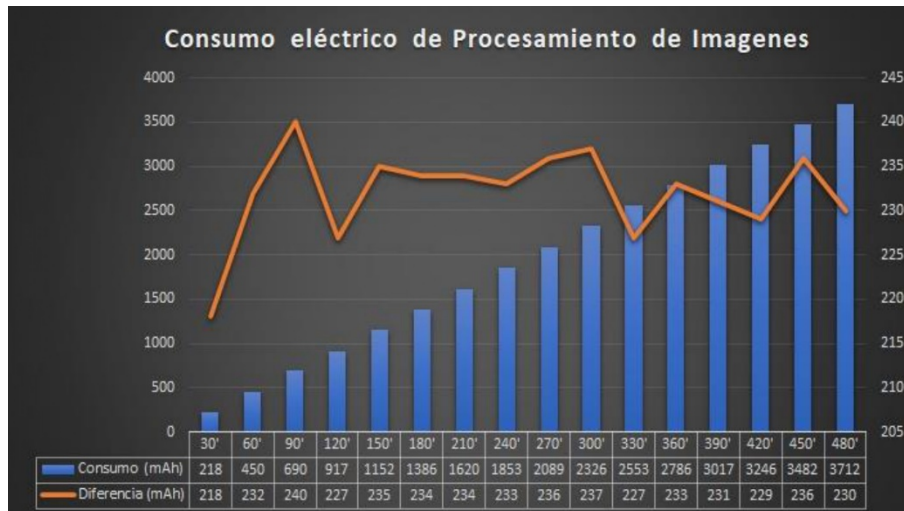


Figura 51. Consumo promedio (mAh/Hr) del procesamiento de imágenes para la detección de obstáculos en las áreas segmentadas.

Elaboración Propia.

El comportamiento de dos características, uno es del consumo acumulado por cada media hora (mAh) de orden ascendente respecto a la toma inicial, y el segundo es el consumo parcial por cada media hora (mAh) con una tendencia de 232mAh por cada media hora en el procesamiento de imágenes para la detección de obstáculos en las áreas segmentadas. Entonces el consumo promedio por una hora es de:

$$\overline{\text{Consumo}}_{\text{Detección}} = \frac{232 \text{ mAh}}{30 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = \frac{464 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}}$$

- **Análisis del Consumo Eléctrico por la Comunicación Unidireccional con los Elementos Vibratorios**

El consumo por la comunicación unidireccional con los elementos vibratorios fue analizado con la prueba de funcionamiento durante 8 horas, usando la secuencia de la figura 52, tomando muestras del consumo producido por cada media hora, con el fin de obtener un consumo promedio de mAh/Hr.

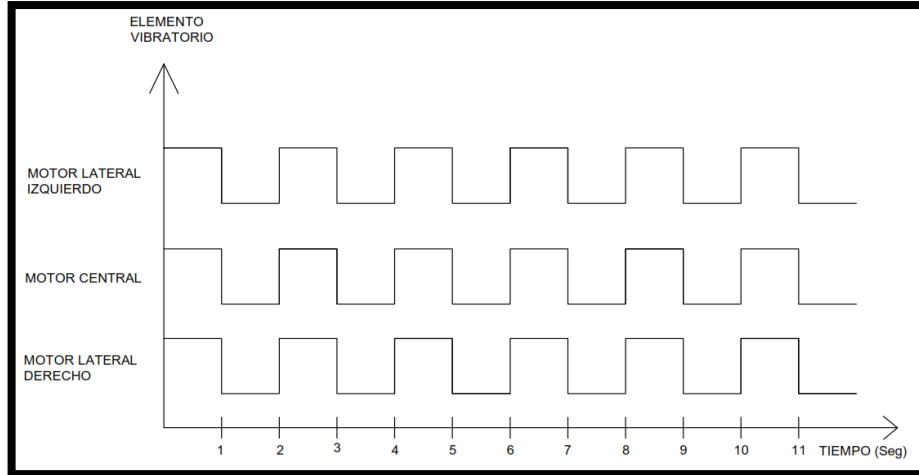


Figura 52. Diagrama de tiempo de los elementos vibratorios.  
Elaboración Propia.

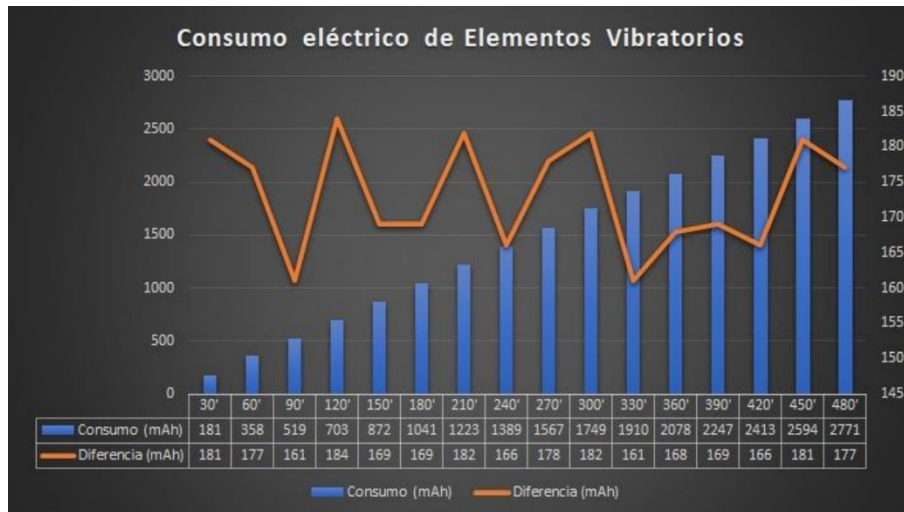


Figura 53. Consumo promedio (mAh/Hr) de la comunicación unidireccional a los elementos vibratorios con la secuencia de 1 segundo.  
Elaboración propia.

En la Figura 53 se detalla el comportamiento de dos características, uno es del consumo acumulativo por cada media hora (mAh) de orden ascendente respecto a la toma inicial, y el segundo es el consumo parcial por cada media hora (mAh) con una tendencia de 173mAh por cada media hora en la comunicación unidireccional a los elementos vibratorios con la secuencia. Entonces el consumo promedio por cada hora es de:



$$\overline{\text{Consumo}}_{\text{Elementos Vibratorios}} = \frac{173 \text{ mAh}}{30 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = \frac{346 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}}$$

Entonces la suma del consumo promedio de la detección de obstáculos en las áreas segmentadas y el consumo promedio de la comunicación unidireccional de los elementos vibratorios con la secuencia de 1 segundo, nos da un consumo total de 1Ah/Hora.

$$\overline{\text{Consumo}}_{\text{Total}} = \overline{\text{Consumo}}_{\text{Detección}} + \overline{\text{Consumo}}_{\text{Elementos Vibratorios}}$$

$$\overline{\text{Consumo}}_{\text{Total}} = \frac{464 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}} + \frac{346 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}} = \frac{810 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}}$$

$$\overline{\text{Consumo}}_{\text{Total}} = \frac{810 \text{ mAh}}{1 \text{ hora}}$$

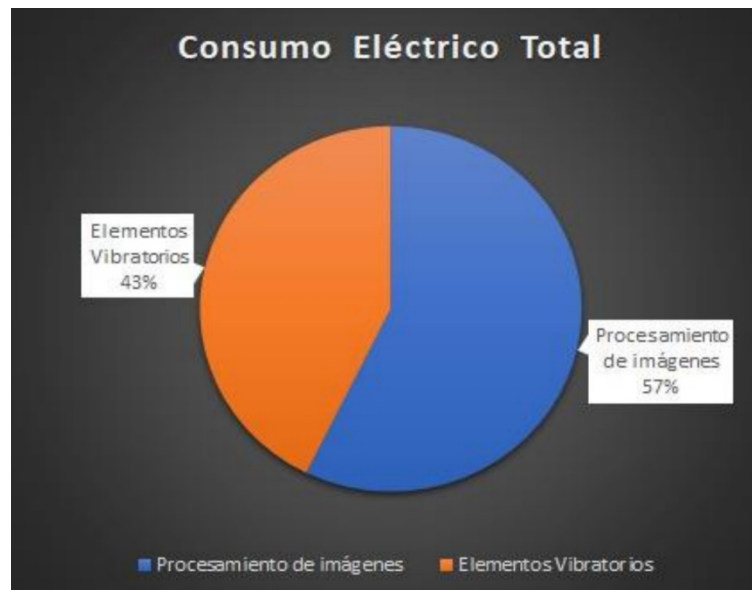


Figura 54. Consumo eléctrico total del sistema guía.  
Elaboración Propia.

Una vez calculado el consumo promedio total, se procedió a determinar el tipo de batería a usar según las especificaciones técnicas proporcionados por su composición química. Luego se seleccionó el módulo de carga y descarga de las baterías, para realizar los planos del equipo portador del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados.

## Selección del Tipo de Batería

La selección del tipo de batería se desarrolló con el método de factores ponderados y entre ellas tenemos:

- Energía / Peso.
- Tensión por elemento.
- Duración (número de recargas).
- Tiempo de carga.
- Tasa de auto descarga por mes
- Costo

*Tabla 13. Calificación sobre 100 de las características para la selección del tipo de batería por el Método de Factores Ponderados.*

Características	Importancia relativa	Calificación (Escala: 0 - 100)					
		Plomo	Ni-Fe	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion	Li-Po
Energía/Peso	0.2	20	20	30	40	90	80
Tensión por elemento	0.2	40	20	20	20	80	80
Duración por número de recargas	0.1	20	90	10	30	50	60
Tiempo de carga	0.1	15	60	10	80	80	90
Tasa de auto descarga por mes	0.1	90	85	60	75	70	85
Costo	0.3	55	55	60	30	90	20

*Elaboración Propia.*

Tabla 14. Calificación Ponderada de las características para la selección del tipo de batería por el Método de Factores Ponderados.

Características	Importancia relativa	Calificación Ponderada					
		Plomo	Ni-Fe	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion	Li-Po
Energía/Peso	0.2	4	4	6	8	18	16
Tensión por elemento	0.2	8	4	4	4	16	16
Duración por número de recargas	0.1	2	9	1	3	5	6
Tiempo de carga	0.1	1.5	6	1	8	8	9
Capacidad de descarga	0.1	9	8.5	6	7.5	7	8.5
Costo	0.3	16.5	16.5	18	9	27	6
<b>Puntuación Total</b>	<b>1.0</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	<b>36</b>	<b>39.5</b>	<b>81</b>	<b>61.5</b>

*Elaboración Propia.*

Del análisis por Factores Ponderados se puede concluir que la batería del tipo Li-Ion es la aceptable para usar dentro del trabajo de investigación en el desarrollo del sistema guía para personas ciegas en espacios controlados. Este tipo de batería se comercializa en dos tipos de encapsulados: tipo celda y tipo pila.

- **Tipo pila:** Usadas en laptops, donde sus fabricantes principales son Samsung, LG, Panasonic, Sony. Generalmente se comercializan los modelos 18650, y 26650.

Tabla 15. Características de los modelos de las baterías Li-Ion tipo pila.

Modelo	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Capacidad Promedio (mAh)	Peso neto (gr)	Índice (mm <sup>3</sup> / mAh)
18 650	16 530	2 950	48	5.60
26 650	34 500	5 000	76	6.90

Fuente: Especificaciones de baterías Li-Ion recargable tipo 18 650 (Samsung, 2015), tipo 26 650 (Amazon, Batería De Iones De Litio Azul Icr 26650 3.7v 5000mah, 2021).

- **Tipo celda:** Mayormente usados en celulares, donde sus fabricantes principales son Apple Samsung, LG, Motorola, Nokia.

Tabla 16. Características de los modelos de las baterías Li-Ion tipo celda.

Marca	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Capacidad Promedio (mAh)	Peso neto (gr)	Índice (mm <sup>3</sup> / mAh)
Apple	17 776	2 750	41	6.46
LG	34 320	3 000	40	11.44

Fuente: Especificaciones de baterías Li-Ion recargable marca Apple (Duracell, 2021), LG (Amazon, 2021)

Para determinar el tipo de batería a usar en el sistema guía, se eligió respecto al valor del índice de volumen por capacidad de almacenamiento, debido a que este valor describe el volumen necesario de la batería para almacenar 1 mAh, siguiendo este razonamiento se eligió el de menor valor ya que el volumen del sistema guía debe ser compacto.

Tabla 17. Clasificación de las baterías Li-Ion según el índice de almacenamiento ( $\text{mm}^3/\text{mAh}$ ).

Orden ascendente del índice ( $\text{mm}^3/\text{mAh}$ )	
Tipo de batería Li-Ion	Índice ( $\text{mm}^3/\text{mAh}$ )
18 650	5.60
Apple	6.46
26 650	6.90
LG	11.44

Elaboración Propia.

Con la clasificación de las baterías Li-Ion en orden ascendente del valor del índice de almacenamiento ( $\text{mm}^3/\text{mAh}$ ), se seleccionó el de menor valor para que el sistema guía sea compacto siendo esta la de batería Li-Ion "INR18650-30Q". Con esta información, se procedió a la selección del módulo de carga y descarga para esta batería.

## Selección del Módulo de Carga y Descarga

Debido a que se seleccionó las baterías de tipo Li-Ion "INR18650-30Q", fue necesario analizar sus curvas de carga y descarga mostrada en la figura 55 según su composición química cumpliendo con su funcionamiento.

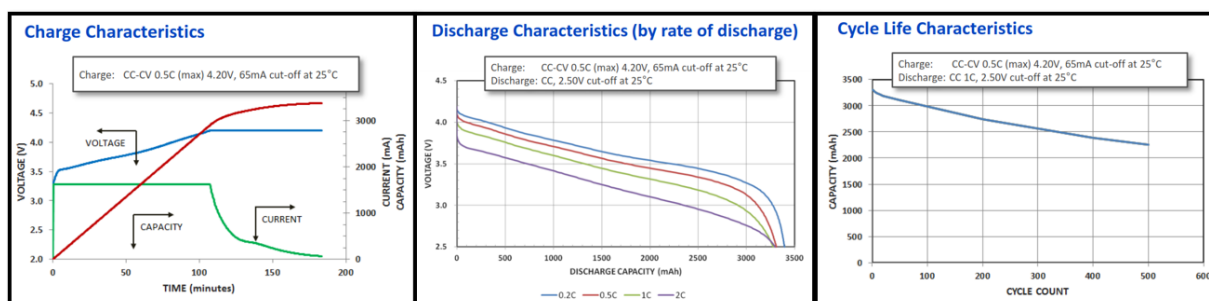


Figura 55. Curva de carga y descarga con ciclo de vida de la batería Li-Ion "INR18650-30Q".

Fuente: Hoja de datos NCR18650B (Panasonic, 2012).

Después, se utilizó el “Module Power Bank 18650”, tarjeta electrónica diseñada por la empresa “WAVGAT” para cumplir con las características de las curvas de carga y descarga de la batería Li-Ion tipo 18 650.

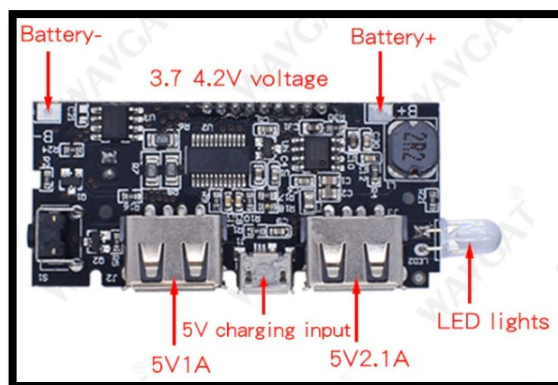


Figura 56. Module Power Bank 18650 de WAVGAT.  
Fuente: WAVGAT Official Store (AliExpress, 2021).

Las principales características de este módulo de carga y descarga “Module Power Bank 18650” son:

- Ofrece 02 salidas aisladas de diferentes capacidades.
- Ofrece protección contra corto circuito.
- Permite una visualización del almacenamiento en porcentaje de las baterías.
- Permite una carga máxima de 5v / 2A.
- Ofrece apagado automático cuando en ambas salidas se tiene una corriente de 0 Amperios.

Una vez obtenida el módulo de carga y descarga, se procedió a diseñar el gabinete, donde se encapsularon la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, batería “tipo INR18650-30Q”, módulo de carga y descarga “Module Power Bank 18650”, placa electrónica del interruptor lógico, adaptador FPC-Header 16 pines, ventilador.

## Diseño del Equipo Portador

El diseño del equipo portador para la unidad de procesamiento informático se realizó considerando en el acceso directo hacia los pines de salida de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, con ello permite colocar 5 baterías tipo pila “INR18650-30Q” en sentido vertical, lo cual genera una capacidad de almacenamiento total de 14 750 mAh.

$$Capacidad_{almacenamiento} = 2\,950\text{ mAh} * 5 = 14\,750\text{ mAh}$$

Considerando el consumo promedio por hora:

$$\overline{Consumo}_{Total} = \frac{810\text{ mAh}}{1\text{ hora}}$$

Para determinar la autonomía total del sistema guía proporcionado por las 05 baterías INR18650-30Q, es necesario calcular la razón entre el valor de la capacidad de almacenamiento y el valor del consumo promedio total:

$$Autonomía_{Total} = \frac{Capacidad_{almacenamiento}}{\overline{Consumo}_{Total}}$$
$$Autonomía_{Total} = \frac{14\,750\text{ mAh}}{810\frac{\text{mAh}}{\text{hora}}} = 18\text{ horas}$$

Con la ecuación se puede deducir que el sistema guía tiene una autonomía de 18 horas. Después se identificó el tiempo de carga de las 05 baterías INR18650-30Q usando el módulo de carga y descarga “Module Power Bank 18650”, siendo este valor 08 horas 17 minutos de carga. Se tuvo en cuenta la recomendación de dormir 8 horas diarias para una vida sana, dejando 16 horas de trabajo de las 24 del día, y teniendo en cuenta también la duración por la autonomía del sistema guía por 18 horas, entonces se tuvo 02 horas de inactividad del sistema guía, es decir, esta práctica hace que las baterías no lleguen a descargarse

completamente contribuyendo a mantener su ciclo de vida útil especificado por el fabricante, y no llegando a usar las 18 horas completas de carga.

Finalmente, identificados los elementos a usar en el sistema guía de desplazamiento para personas ciegas en espacios controlados, se procedió a diseñar el gabinete del equipo informático donde se almacenaron los componentes. Luego se diseñó la tapa en donde irán el ventilador, el módulo de carga, la placa electrónica del interruptor lógico, y el adaptador FPC - Header 16 pines. Una vez obtenidos el gabinete y la tapa, se procedió a sujetarlos al cuerpo del usuario usando como modelo una mochila, el cual se fija por medio de tirantes de poliéster y hebilla de plástico. Estas se pueden regular para personas desde 1.50 metros hasta 1.75 metros de altura. Luego se diseñaron soportes para los motores vibradores, dos de ellos se ubicaron en la zona lateral del húmero izquierdo y derecho apoyados de tirantes de poliéster, mientras que el restante se ubicó en la zona central del tórax apoyado de la hebilla de plástico sujetado por 04 tornillos M3x10mm. Por último, se diseñó el soporte sujetador para la cámara NoIR V2, el cual se enganchó en la montura acrílica.

La conexión de la cámara se prolongó por medio de cable N° 26 haciendo uso de un adaptador de tipo FPC – Header 16 pines.

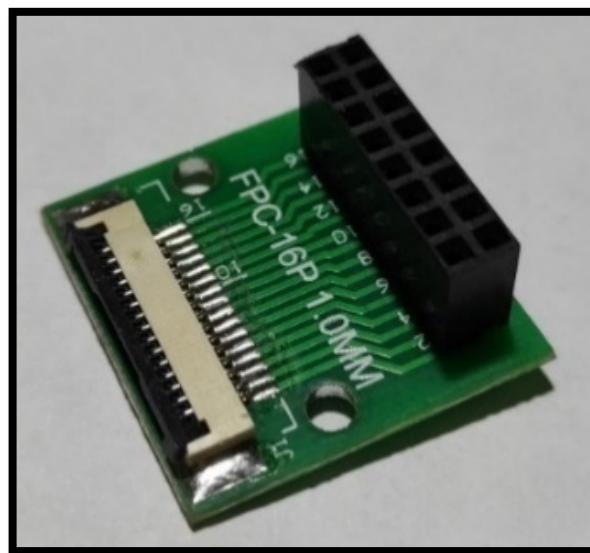


Figura 57. Adaptador tipo FPC-Header 16 pines.  
Elaboración Propia.



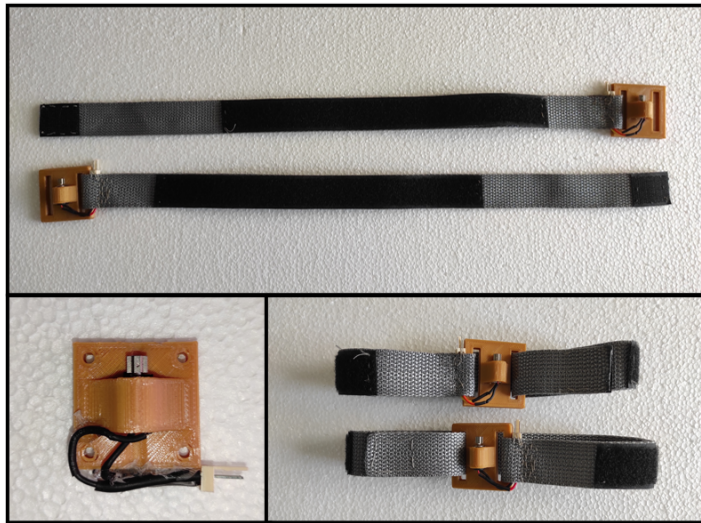


Figura 58. Motor vibrador en soporte lateral y central.  
Elaboración Propia.

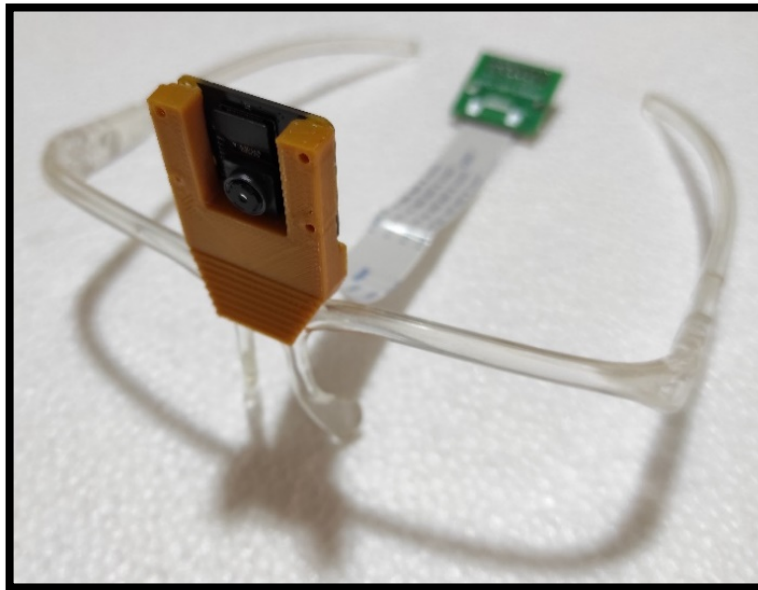


Figura 59. Cámara NoIR V2 en soporte de la montura acrílica.  
Elaboración Propia.

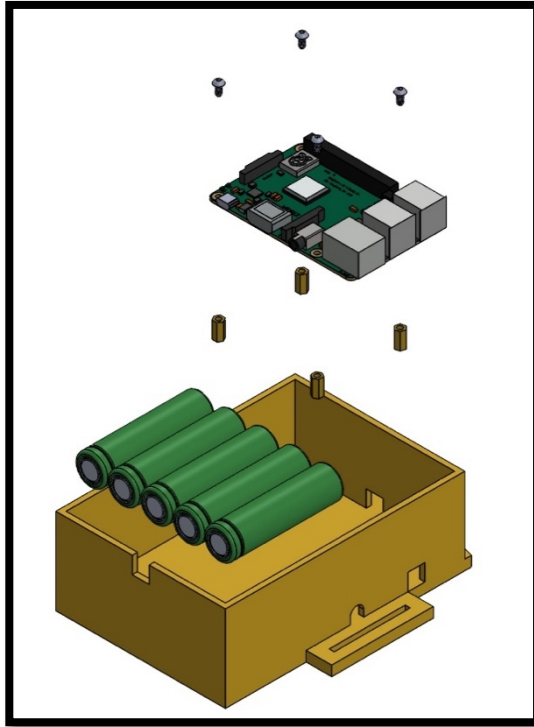


Figura 60. Distribución de Gabinete.  
Elaboración propia.

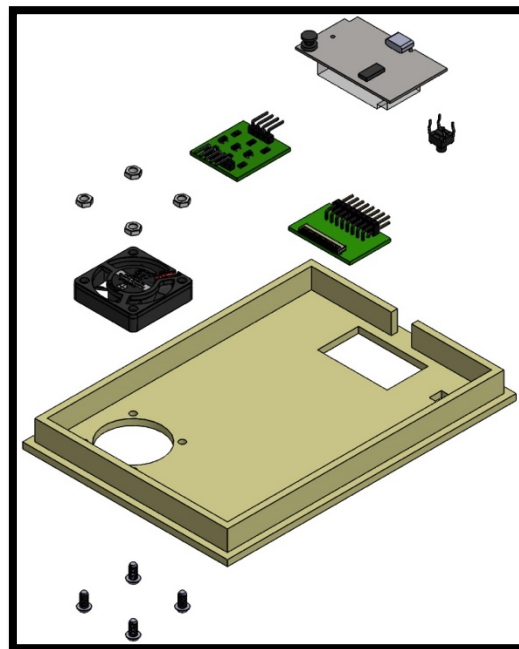


Figura 61. Distribución de Tapa.  
Elaboración propia.

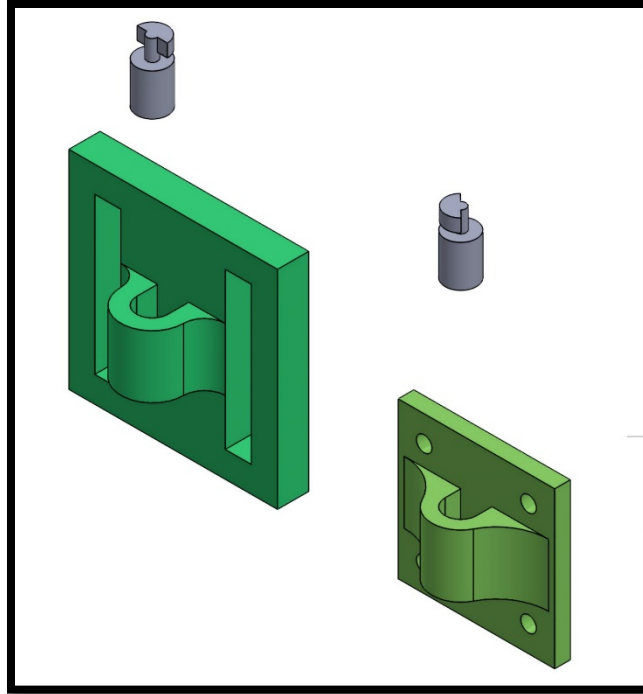


Figura 62. Distribución en Soporte de Motor Lateral y Central.  
Elaboración propia.

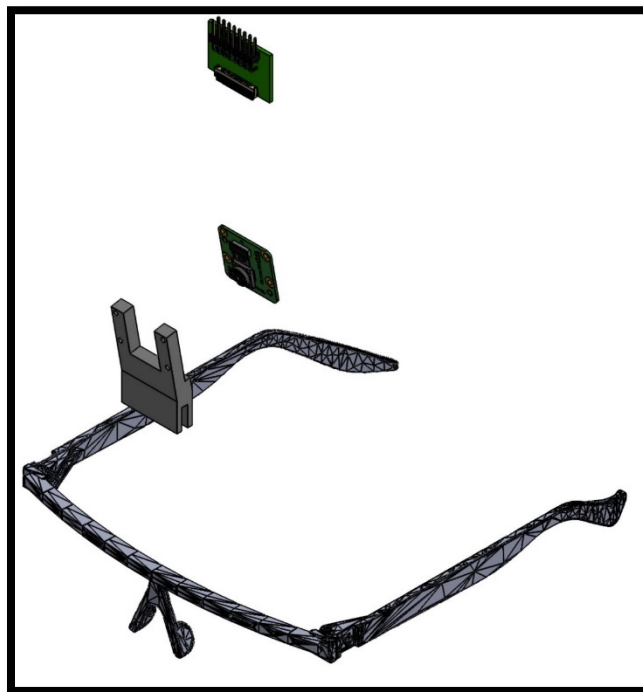


Figura 63. Distribución en Soporte de Cámara.  
Elaboración propia.

Tabla 18. Peso de los elementos del sistema guía.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PESO UNITARIO	PESO TOTAL
01	Baterías Li-Ion INR18650-30Q	5	42 gr	210 gr
02	Brazaletes lateral	2	18 gr	36 gr
03	Cables de conexión	3	4 gr	12 gr
04	Cámara NoIR V2	1	03 gr	03 gr
05	Extensión con adaptadores FPC-Header 16 pines	1	43 gr	43 gr
06	Fan cooler (ventilador)	1	06 gr	06 gr
07	Gabinete con cinta sólida de poliéster	1	192 gr	192 gr
08	Gafas de acrílico	1	13 gr	05 gr
09	Interruptor lógico	1	03 gr	03 gr
10	Módulo de carga y descarga de baterías INR18650	1	12 gr	12 gr
11	Raspberry Pi 3B+	1	60 gr	60 gr
12	Soporte de cámara NoIR V2	1	05 gr	05 gr
<b>TOTAL</b>				<b>587 gr</b>

*Elaboración propia.*

Una vez diseñado el equipo portador de procesamiento informático que carga a todo el sistema guía con un peso total de 587 gramos, se procedió a desarrollar el lenguaje de comunicación entre hombre y máquina para personas con ceguera e interpretar los datos en tiempo real, con el fin de realizar las pruebas correspondientes del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados.

## Desarrollo del Lenguaje de Comunicación entre Hombre y Máquina para Personas con Ceguera para Interpretar los Datos en Tiempo Real

En esta sección se desarrolló el lenguaje de comunicación entre hombre y máquina para personas con ceguera con el fin de interpretar los datos en tiempo real. Para ello se usó el Protocolo de Interpretación de Señales (PIS) donde se desarrollaron las pruebas para constatar el accionamiento de los motores vibradores con la detección de obstáculos. El cual se realizó de la siguiente manera: se colocó el gabinete tipo mochila del sistema guía al usuario, luego se conectaron los motores vibradores en sus respectivas ubicaciones, dos laterales y uno central del usuario, y finalmente la cámara se ubicó en el soporte de los lentes de acrílico.

Por consiguiente, se generó un programa informático, el cual representó el reconocimiento de los obstáculos en las diferentes zonas del área de estudio emitiendo vibraciones para cada situación, siendo las siguientes:

1. Reconocimiento de las zonas sin obstáculos.
2. Reconocimiento de obstáculos en la zona lateral izquierda.
3. Reconocimiento de obstáculos en la zona lateral derecha.
4. Reconocimiento de obstáculos en ambas zonas laterales.
5. Reconocimiento de obstáculos en la zona central lejana.
6. Reconocimiento de obstáculos en la zona central mediana.
7. Reconocimiento de obstáculos en la zona central de riesgo.
8. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.
9. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.
10. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.
11. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.
12. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.
13. Reconocimiento de obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, False)
15     GPIO.output(29,False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)

```

Figura 64. Código para motores vibradores sin accionamiento de los motores.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, True)
15     GPIO.output(29,False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(31,False)
20     time.sleep(1)

```

Figura 65. Código para accionamiento del motor lateral derecha.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, False)
15     GPIO.output(29,True)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29,False)
20     time.sleep(1)
21

```

Figura 66. Código para accionamiento del motor lateral izquierda.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, True)
15     GPIO.output(29, True)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(31,False)
20     GPIO.output(29,False)
21     time.sleep(1)

```

Figura 67. Código para accionamiento de ambos motores laterales.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, False)
15     GPIO.output(29, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(25)
17     time.sleep(1)
18

```

Figura 68. Código para accionamiento del motor central lejano.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, False)
15     GPIO.output(29, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(50)
17     time.sleep(1)
18

```

Figura 69. Código para accionamiento del motor central mediana.  
Elaboración Propia.



```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(31, False)
15     GPIO.output(29, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(75)
17     time.sleep(1)

```

Figura 70. Código para accionamiento del motor central de riesgo.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, True)
15     GPIO.output(31, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(25)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 71. Código para accionamiento del motor lateral izquierdo y central lejano.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, True)
15     GPIO.output(31, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(50)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 72. Código para el accionamiento del motor lateral izquierdo y central mediano.  
Elaboración Propia.



```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, True)
15     GPIO.output(31, False)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(75)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 73. Código para el accionamiento del motor lateral izquierdo y central de riesgo.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, False)
15     GPIO.output(31, True)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(25)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 74. Código para el accionamiento del motor lateral derecho y central lejano.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, False)
15     GPIO.output(31, True)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(50)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 75. Código para el accionamiento del motor lateral derecho y central mediano.  
Elaboración Propia.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setwarnings(False)
4
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
7 GPIO.setup(29, GPIO.OUT) #MOTOR IZQUIERDO
8 GPIO.setup(31,GPIO.OUT) #MOTOR DERECHO
9 GPIO.setup(33,GPIO.OUT) #MOTOR CENTRAL
10 MotorCentral = GPIO.PWM(33,50)
11
12 while True:
13     MotorCentral.start(0)
14     GPIO.output(29, False)
15     GPIO.output(31, True)
16     MotorCentral.ChangeDutyCycle(75)
17     time.sleep(1)
18
19     GPIO.output(29, False)
20     GPIO.output(31, False)
21     MotorCentral.ChangeDutyCycle(0)
22     time.sleep(1)

```

Figura 76. Código para el accionamiento del motor lateral derecho y central de riesgo.  
Elaboración Propia.

Una vez culminado el Protocolo de Interpretación de Señales (PIS), se procedió a realizar los siguientes ejercicios con el fin lograr la localización de obstáculos por parte del usuario:

1. Se colocó una caja con dimensiones máximas de 60 cm de ancho, 30 cm de largo, 30 cm de alto, a 70 cm delante del usuario (esto representa que la caja se encuentra en la zona central de riesgo), con el fin de que el usuario localice el obstáculo con movimientos de cabeza hacia la derecha y hacia la izquierda lentamente, de manera repetida hasta que el usuario consiga interpretar estas señales vibratorias logrando identificar con certeza la ubicación del obstáculo. Este procedimiento se repitió de igual manera para las zonas centrales mediana y lejana.

2. Se colocaron dos cajas delante del usuario con las dimensiones anteriormente descritas, una en la zona central de riesgo y la otra en la zona central lejana. En este tipo de situaciones prevalece el de mayor riesgo. Es por ello que el usuario gira la cabeza hacia la derecha y hacia la izquierda, donde decide desplazarse por los lados laterales, específicamente donde no perciba vibraciones, encontrando esta zona libre. Después se repitió el proceso de localización para el segundo obstáculo, encontrando otra vez la zona libre para su desplazamiento.

3. Se colocaron dos cajas en las zonas laterales tanto izquierda como derecha, de las mismas dimensiones, este tipo de situaciones genera la activación de los motores vibradores laterales donde el usuario al percibirlas puede deducir que la zona central está libre para su desplazamiento, en otras palabras, el usuario está desplazándose en medio de dos obstáculos o en un callejón por la detección de bordes de las paredes del sistema guía.

4. Se colocaron tres cajas de las mismas dimensiones delante del usuario, dos de ellas se situaron en las zonas laterales tanto izquierda como derecha, y el otro se situó en la zona central de riesgo, esto genera que el usuario perciba las 03 vibraciones por parte de todos los motores vibradores, indicando que la vía en la que se sitúa está bloqueada, por lo que tiene que girar la cabeza de izquierda a derecha hasta encontrar la zona libre para su desplazamiento, en caso contrario podrá retroceder y repetir el ejercicio hasta encontrar la zona libre.

Finalmente, integrado todo el sistema guía se realizó un examen de movilidad para evaluar los indicadores del trabajo de investigación, con la finalidad de discutir los resultados con otros proyectos de investigación.

## Indicadores de Eficiencia del Sistema Guía

Una vez desarrollado el prototipo del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados, se procedió a evaluar los indicadores del trabajo de investigación:

- Tiempo de Respuesta de la red de comunicación ( $\Delta T$ ), el cual se tomó desde la salida del módulo GPIO de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ hasta la activación de los motores vibradores, el cual se midió mediante un osciloscopio.

- Eficiencia de la Interpretación de Señales (EIS) permitió evaluar la relación entre el número de señales identificadas correctamente por el usuario y el número total de señales emitidas por la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+.
- Eficiencia de Procesamiento de Imágenes (EPI) permitió evaluar la relación entre el número de obstáculos eludidos con el procesamiento de imágenes y el número de obstáculos totales colocados frente al usuario.
- Nivel de Satisfacción del Usuario (NSU) que tiene la finalidad de evaluar de manera cuantitativa en una evaluación sobre 05 por medio de una encuesta.

### Tiempo de Respuesta de la Red de Comunicación ( $\Delta T$ )

Para medir el tiempo de respuesta de la red de comunicación se hizo uso del instrumento Osciloscopio Digital de marca EZ Digital Company cuyo modelo es DS-1150. Encontrando la variación del tiempo ( $\Delta T$ ) que es la sustracción del tiempo final e inicial del recorrido de la señal.

$$\Delta T = T_f - T_i$$

En la figura 77 se muestran la lectura de las señales en el Channel 01 y Channel 02, las cuales pertenece a la toma de la señal en el motor y a la salida del módulo GPIO de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ respectivamente.



Figura 77. Lectura de una señal de la red de comunicación en osciloscopio.  
Elaboración propia.

En el osciloscopio se modificó al tipo de medición "TIME", que permitió hacer uso de los cursores con la finalidad de verificar la medición de 02 puntos en el tiempo, siendo estos Cursor 01 y Cursor 02, y además "DELTA" es la diferencia de tiempo entre estos dos cursores.

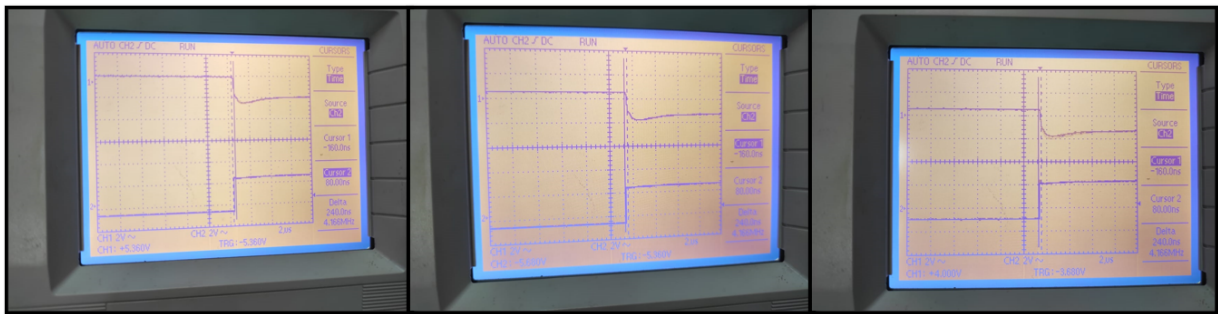


Figura 78. Lectura de las variables DELTA para los 03 motores vibratorios en osciloscopio.  
Elaboración propia.

Tabla 19. Promedio del tiempo de respuesta de la red de comunicación en 03 pruebas.

MOTOR	$T_f$ (ns)	$T_i$ (ns)	$\Delta T$ (ns)
LATERAL IZQUIERDO	80	-160	240
CENTRAL	80	-160	240
LATERAL DERECHO	80	-160	240
PROMEDIO TOTAL			240 ns

Elaboración propia.

El promedio del tiempo de respuesta de la red de comunicación es de 240 nano segundos, este tiempo está compuesto por el tiempo de recorrido hacia la base del transistor (de placa del interruptor lógico), asimismo el tiempo de conmutación del transistor 2N2222A (225 nano segundos), y finalmente el tiempo de recorrido del cableado hacia el motor, terminando en el polo "GROUND".



*Figura 79. Uso del osciloscopio.  
Elaboración propia.*

## Eficiencia de la Interpretación de Señales (EIS)

La eficiencia de interpretación de señales es el indicador que mide la razón entre el número de señales identificadas correctamente respecto al reconocimiento de obstáculos y el número total de señales emitidas.

$$E.I.S. = \frac{\text{Número de señales identificadas correctamente}}{\text{Número total de señales emitidas}} * 100\%$$

Donde E.I.S.: Eficiencia de Interpretación de Señales.

Tabla 20. Prueba de Interpretación de Señales Persona 1.

Persona 1			
Ítems	Descripción de la Interpretación	¿Identificó la señal?	
		Sí	No
01	Zonas sin obstáculos.	x	
02	Obstáculos en la zona lateral izquierda.	x	
03	Obstáculos en la zona lateral derecha.	x	
04	Obstáculos en ambas zonas laterales.	x	
05	Obstáculos en la zona central lejana.	x	
06	Obstáculos en la zona central mediana.	x	
07	Obstáculos en la zona central de riesgo.	x	
08	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.		x
09	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.	x	
10	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.	x	
11	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.		x
12	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.	x	
13	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.	x	
<b>EIS 1</b>		<b>84.62 %</b>	

Elaboración propia.

Tabla 21. Prueba de Interpretación de Señales Persona 2.

Persona 2			
Ítems	Descripción de la Interpretación	¿Identificó la señal?	
		Sí	No
01	Zonas sin obstáculos.	x	
02	Obstáculos en la zona lateral izquierda.	x	
03	Obstáculos en la zona lateral derecha.	x	
04	Obstáculos en ambas zonas laterales.	x	
05	Obstáculos en la zona central lejana.		x
06	Obstáculos en la zona central mediana.	x	
07	Obstáculos en la zona central de riesgo.	x	
08	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.		x
09	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.	x	
10	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.	x	
11	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.		x
12	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.	x	
13	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.	x	
<b>EIS 2</b>		<b>76.92 %</b>	

Elaboración propia.



Tabla 22. Prueba de Interpretación de Señales Persona 3.

Persona 3			
Ítems	Descripción de la Interpretación	¿Identificó la señal?	
		Sí	No
01	Zonas sin obstáculos.	x	
02	Obstáculos en la zona lateral izquierda.	x	
03	Obstáculos en la zona lateral derecha.	x	
04	Obstáculos en ambas zonas laterales.	x	
05	Obstáculos en la zona central lejana.	x	
06	Obstáculos en la zona central mediana.	x	
07	Obstáculos en la zona central de riesgo.	x	
08	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.	x	
09	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.	x	
10	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.	x	
11	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.		x
12	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.	x	
13	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.	x	
<b>EIS 3</b>		<b>92.31 %</b>	

Elaboración propia.

Tabla 23. Prueba de Interpretación de Señales Persona 4.

Persona 4			
Ítems	Descripción de la Interpretación	¿Identificó la señal?	
		Sí	No
01	Zonas sin obstáculos.	x	
02	Obstáculos en la zona lateral izquierda.	x	
03	Obstáculos en la zona lateral derecha.	x	
04	Obstáculos en ambas zonas laterales.	x	
05	Obstáculos en la zona central lejana.	x	
06	Obstáculos en la zona central mediana.	x	
07	Obstáculos en la zona central de riesgo.	x	
08	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.		x
09	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.	x	
10	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.	x	
11	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.		x
12	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.	x	
13	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.	x	
<b>EIS 4</b>		<b>84.62 %</b>	

Elaboración propia.

Tabla 24. Prueba de Interpretación de Señales Persona 5.

Persona 5			
Ítems	Descripción de la Interpretación	¿Identificó la señal?	
		Sí	No
01	Zonas sin obstáculos.	x	
02	Obstáculos en la zona lateral izquierda.	x	
03	Obstáculos en la zona lateral derecha.	x	
04	Obstáculos en ambas zonas laterales.	x	
05	Obstáculos en la zona central lejana.		x
06	Obstáculos en la zona central mediana.		x
07	Obstáculos en la zona central de riesgo.	x	
08	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central lejana.		x
09	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central mediana.	x	
10	Obstáculos en las zonas lateral izquierdo – central de riesgo.	x	
11	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central lejana.		x
12	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central mediana.	x	
13	Obstáculos en las zonas lateral derecha – central de riesgo.	x	
<b>EIS 5</b>		<b>69.23 %</b>	

Elaboración propia.

Tabla 25. Promedio Total de las Pruebas de Interpretación de Señales.

PRUEBAS	EIS
Persona 01	84.62 %
Persona 02	76.92 %
Persona 03	92.31 %
Persona 04	84.62 %
Persona 05	69.23 %
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	<b>81.54 %</b>

*Elaboración Propia.*

El indicador de Eficiencia de la Interpretación de Señales (EIS) señala que el sistema guía tiene un promedio de reconocimiento del 81.54 % de las señales emitidas por los motores vibradores para la detección de obstáculos.

### Eficiencia de Procesamiento de Imágenes (EPI)

El indicador de la Eficiencia de Procesamiento de Imágenes (EPI) se evaluó mediante el examen de movilidad que consistió en 05 evaluaciones con el fin de eludir distintos números de obstáculos, entre ellas tenemos, 01, 02, 03, 05, 08 obstáculos, y también se utilizó la siguiente fórmula:

$$E.P.I. = \frac{\text{Número de obstáculos eludidos}}{\text{Número de obstáculos totales}} * 100\%$$

Donde E.P.I.: Eficiencia del Procesamiento de Imágenes.



Figura 80. Prueba para la Eficiencia del Procesamiento de Imágenes.  
Elaboración Propia.

Tabla 26. Detección de obstáculos para la prueba de Procesamiento de Imágenes.

Usuario	Número total de obstáculos					EPI
	1° T = 1	2° T = 2	3° T = 3	4° T = 5	5° T = 8	
Prueba 1	1	2	3	5	6	89.47 %
Prueba 2	1	2	3	4	6	84.21 %
Prueba 3	1	2	3	5	7	94.74 %
Prueba 4	1	2	3	4	5	78.95 %
Prueba 5	1	2	3	3	6	78.95 %
<b>Promedio Total EPI</b>						<b>85.26 %</b>

Elaboración Propia.

El indicador de Eficiencia de Procesamiento de Imágenes (EPI) señala que el sistema guía tiene un promedio de detección de los obstáculos del 85.26 %.

## Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U.)

El indicador del Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U.) se midió a través de la aplicación del cuestionario que permitió determinar, desde la perspectiva del usuario, la satisfacción de los criterios de peso, tamaño y duración de la batería del sistema guía diseñado.

El Nivel de satisfacción del usuario se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$N.S.U. = P.D.B. + P.P. + P.T.$$

- N.S.U.: Nivel de Satisfacción del Usuario.
- P.P.: Ponderado de Peso.
- P.T.: Ponderado de Tamaño.
- P.D.B.: Ponderado de Duración de Batería.

Para la respuesta de la Satisfacción del Usuario (N.S.U.) se consideraron los siguientes niveles:

- 1 = Nada de acuerdo.
- 2 = En desacuerdo.
- 3 = Indiferente.
- 4 = De acuerdo.
- 5 = Muy de acuerdo.

Y la ponderación de cada uno de los criterios evaluados fueron:

- Duración de Batería (50%).
- Peso (25%).
- Tamaño (25%).

Tabla 27. Datos obtenidos de las encuestas.

Indicadores	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5	Promedio
P.D.B.	4.40	4.2	4.80	4.60	4.80	4.56
P.P.	4.80	4.80	4.80	4.60	4.40	4.68
P.T.	4.20	4.40	4.60	4.20	4.40	4.36

Elaboración Propia.

Tabla 28. Cálculo de ponderación para el Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U.).

Indicadores	Peso	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5	Promedio
P.D.B.	0.50	2.20	2.10	2.40	2.30	2.40	2.28
P.P.	0.25	1.20	1.20	1.20	1.15	1.10	1.17
P.T.	0.25	1.05	1.10	1.15	1.05	1.10	1.09
N.S.U.	1.00	4.45	4.40	4.75	4.50	4.60	4.54

Elaboración Propia.

El Nivel de Satisfacción del Usuario (N.S.U.) está ubicada en el nivel correspondiente a la escala entre 4 y 5 que está situada sobre buena satisfacción con la ponderación de la duración de baterías, peso, y tamaño del sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sistema guía de la presente investigación, que sirve de ayuda para el desplazamiento, en espacios controlados, de personas ciegas, ha requerido el análisis de diversos criterios que fueron tomados en cuenta para el diseño de los diversos componentes de dicho sistema.

Es así que en la presente investigación se utilizó la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, la cual se encarga del procedimiento de visión artificial, utilizándose librerías de OpenCV, y el compilador de Python, lo que permitió, que a través del módulo GPIO se produjo la señal de salida hacia los actuadores (motores vibratorios). En investigaciones similares, como las desarrolladas por Miranda & Aguirre (2018) y Romero & Rodríguez (2018), los autores utilizaron la primera versión de la tarjeta de desarrollo antes mencionada, debido a que la versión aún no se actualizaba, además estas investigaciones obtienen los datos de los obstáculos con enfoques distintos. Así mismo, en comparación con la investigación desarrollada por Santiago V. M. (2012), la cual requería un extenso procesamiento de datos, el autor se apoya de una PC portátil, usando un Mezclador Analógico de Sonidos. Y por el contrario en la investigación de Quezada (2014), el autor usa un microcontrolador ATmega8 el cual es capaz de establecer las comunicaciones con los sensores, que al mismo tiempo es programado con el lenguaje de Assembler para los procesos VMLAB desarrollado para la familia ATmel. Es así que se pueden utilizar diversas tecnologías, pero el objetivo sigue siendo el mismo: establecer un procedimiento de visión artificial que permita identificar la ubicación de los obstáculos, aunque no necesariamente los clasifique.

Esta detección de obstáculos ha requerido el empleo de una cámara NoIR V2, considerada dentro del diseño por su compatibilidad con la tarjeta de desarrollo seleccionada, y a la vez por ser más ligera al ser comparada con otras opciones que fueron utilizadas en las investigaciones de (Romero & Rodríguez, 2018) y (Santiago V. M., 2012), como son la cámara Kinect pesada y espaciosa o la integración de cámaras estereas y sensores 3D, respectivamente. Mientras que (Quezada, 2014) y (Miranda & Aguirre, 2018) hacen uso de sensores ultrasónicos. La versatilidad de la cámara es importante dentro del diseño guía,



dado que permite una mayor integración con la tarjeta de desarrollo y se hace más eficiente la detección de los obstáculos.

Para el procedimiento de la detección de los obstáculos se emplea la segmentación de áreas de estudio, el cual determina los objetos sin clasificarlos ya que en las zonas laterales se tuvieron en cuenta los bordes de las paredes como obstáculos, situación que difiere a la empleada por Romero & Rodríguez (2018) quien emplea la agrupación de píxeles y de esta forma determina el tamaño de los obstáculos y por Santiago V. M. (2012) quien aplica cámaras estereas encargadas de visualizar para procesar el entorno, mientras que Quezada (2014) y Miranda & Aguirre (2018) se apoyan de la física para utilizar señales ultrasónicas emitidas por el sensor HC-SR04 con el fin de medir distancias en las que se encuentra el obstáculo.

Así mismo, el alcance de detección de obstáculos que se logró en la presente investigación fue desde los 60 cm hasta los 250 cm, en relación al usuario, distancia similar a los 50 cm hasta los 250 cm obtenida por Romero & Rodríguez (2018). Por el contrario, los que usan sensores ultrasónicos como Miranda & Aguirre (2018) y Quezada (2014) obtienen un alcance desde 15 a 90 cm y 5 a 150 cm respectivamente. Pero quien obtuvo un mayor alcance fue el sistema desarrollado por Santiago V. M. (2012), el cual fue desde 0 a 1500 cm, justificando este aumento por su metodología empleada. Es importante reconocer que a un mayor alcance, mayor será la distancia que se permitirá reconocer la presencia de obstáculos y al mismo tiempo, servir de ayuda a la persona ciega para que se prepare a tomar sus precauciones o tomar otra ruta.

El aviso que se hace llegar a la persona ciega que utiliza el sistema guía diseñado, sobre la presencia de un obstáculo, requiere el uso de una señal de alerta, la cual se detecta con el sentido del tacto, que a su vez es emitida por los elementos vibratorios, situación similar utilizada por (Romero & Rodríguez, 2018) y (Quezada, 2014). Mientras que (Miranda & Aguirre, 2018) y (Santiago V. M., 2012) detectan la señal de alerta con el sentido del oído, alerta sonora emitida por el zumbador y audífonos respectivamente.

Para la activación de los actuadores (motores vibratorios) se emplea un circuito electrónico a base de los transistores 2N2222A con conexión en el colector, al igual que lo utiliza (Romero & Rodríguez, 2018) pero con conexión en el emisor, mientras que, (Quezada, 2014) usa un driver L293D, el cual es un controlador de motores DC. Por el contrario, (Santiago V. M., 2012) trabaja con sonidos, razón por la cual utiliza un mezclador analógico de sonido, y (Miranda & Aguirre, 2018) activa el zumbador por programación en el pin 12 del módulo GPIO de la tarjeta de desarrollo.

Es así que para la modulación de los actuadores se dispone de los módulos internos de PWM en la tarjeta de desarrollo, el cual tiene diferentes ciclos de trabajo para la segmentación del área de estudio, siendo estas 40%, 60%, 90% para alertar la proximidad del obstáculo al usuario, teniendo en cuenta que para niveles menores del 30%, este tipo de alerta es desapercibida al tacto. Investigación similar a la de (Romero & Rodríguez, 2018) y (Quezada, 2014) que también usan módulos internos de PWM modificando estos niveles a 25%, 50%, 75%, 100%, y de 25%, 35, 45% respectivamente.

La autonomía de cualquier sistema guía se convierte en la característica importante a considerar. Es así que el sistema guía diseñado cuenta con una autonomía de 16 horas con baterías tipo Li-Ion, esto permite que estas no se descarguen totalmente, prolongando la vida útil de los ciclos de carga y descarga, evitando desestabilizaciones en su composición química y las inflamaciones súbitas, característica similar que usa (Miranda & Aguirre, 2018) por lo que su sistema tiene una autonomía de 12 horas. Mientras que los sistemas de (Romero & Rodríguez, 2018) y (Quezada, 2014) poseen la autonomía de 6.5 y 4 horas respectivamente.

Y otra característica importante relacionada a la forma que incluye significativamente en la aceptación y satisfacción de la persona que utilizará el sistema guía, es el peso de dicho sistema. Para la presente investigación, el peso del sistema guía es de 587 gr que se distribuyó en la zona dorsal y frontal lo que genera menos incomodidad en el desplazamiento del usuario, en comparación del sistema de (Romero & Rodríguez, 2018) con un peso de 400 gr. Por otro lado, (Miranda & Aguirre, 2018) con 1270 gr, y (Quezada, 2014) con 1550 gr.

Es así, que el empleo de la tecnología, se ve reflejada en la búsqueda de la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad visual o totalmente ciegas, a quienes se le ofrecen alternativas orientadas a la accesibilidad, reto que debe ser compartido por todos los profesionales quienes pueden ser partícipes en el desarrollo de estas alternativas.

## CONCLUSIONES

Como resultado del desarrollo del sistema de procesamiento de imágenes se determinó que los elementos a usar fueron la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, y la cámara NoIR V2. Para ello, se examinó el nivel de fluidez con la ejecución del filtro escala de grises y el filtro Canny para la detección de bordes con una sintonización de parámetros para la gradiente Right y Left de (52, 52), esta fluidez del sistema tiene un consumo promedio de 0.59 Amperios de corriente y 67.8% del CPU de la tarjeta. Para la detección de obstáculos se segmentó la zona de estudio para luego desarrollar la programación en Python con el propósito de que el sistema detecte estos obstáculos en las zonas segmentadas teniendo un alcance desde los 60 cm hasta los 250 cm en relación al usuario.

Para la red de comunicaciones unidireccionales se implementó una placa electrónica con componentes SMD a base de 03 transistores 2N2222A, con tiempo de respuesta de 240 nano segundos, cuya función es la de recibir las señales de la tarjeta de desarrollo para entregarlas a los 03 motores vibratorios (02 laterales y 01 central). Esta placa electrónica reduce de manera física el consumo de los motores al 75% de su corriente máxima, además cumple la función de un interruptor lógico para la activación y desactivación, y también de modulación por ancho de pulso hacia los actuadores, los cuales están conectados por medio de cables AWG N° 22 de colores rojo y negro para la identificación de los polos positivos y negativos respectivamente de los motores vibratorios.

El diseño del equipo portador se dividió en 03 grupos principales, el gabinete portátil, brazaletes laterales, y gafas de acrílico. El gabinete se ubica en la zona dorsal sujeta por cinta sólida de poliéster, es el lugar donde se almacena la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+, las 05 baterías de tipo Li-Ion "INR18650-30Q" que permite una autonomía del sistema guía de 16 horas de uso y 08 horas de carga, el módulo de carga y descarga de baterías "Module Power Bank 18650", la placa electrónica interruptor lógico, un adaptador FPC-Header 16

pinos, fan cooler (ventilador). Los brazaletes laterales están conformados por un soporte de motor impreso en 3D que a su vez cumple la función de regulador, sujeta por la cinta sólida de poliéster y la cinta velcro. Y las gafas de acrílico, que permiten sujetar la cámara NoIR V2 con un soporte impreso en 3D, la cual está conectada al adaptador FPC-Header 16 pines a través de un cable flex de 15 pines. Este adaptador prolonga la comunicación de la cámara NoIR V2 a la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3B+ ubicada en el gabinete.

Se desarrolló el lenguaje de comunicación entre hombre y máquina con el Protocolo de Interpretación de Señales (PIS) con la finalidad de eludir los obstáculos. El protocolo consta de enviar señales de alerta desde la tarjeta de desarrollo, para ello se identificaron 03 regiones principales de las cuales 02 de ellas son laterales con pulsos fijos, a diferencia del enviado a la tercera región central el cual hace uso de una modulación por ancho de pulso que varía entre 03 niveles que son 40%, 60%, 90% del ciclo de trabajo (DutyCycle) según la distancia de los obstáculos al usuario.

## REFERENCIAS

- Aguirre, N. (2013). *Implementación de un sistema de detección de señales de tráfico mediante visión artificial basado en FPGA*. Sevilla (España): Universidad de Sevilla.
- AliExpress. (2021). WAVGAT Store. <https://es.aliexpress.com/store/1962508?spm=a2g0o.detail.100005.2.5a2b5cc72uSLi8>
- Amazon. (2021). *Batería De Iones De Litio Azul Icr 26650 3.7v 5000mah*. <https://www.amazon.es/ndegdgswg-5000mah-Bater%C3%ADa-Ventilador-Linterna/dp/B08TZQPK7L>
- Amazon. (2021). *Original LG batería li-ion BL-53YH con 3000 mAh para LG G3 D855*. <https://www.amazon.es/Original-bater%C3%ADa-li-ion-BL-53YH-3000/dp/B00NOP4UBS>
- Ballester, A. (2017). *Perspectiva cónica*. Madrid (España): Universidad Autónoma de Madrid.
- Beltrán, J. M. (2006). *Estudio de la perspectiva cónica mediante la conjunción del espacio real y el proyectado utilizando la imagen digital*. Granada (España): Universidad de Granada.
- Canny, J. (1986). *Un enfoque computacional para la detección de bordes*. Pekín (China): Universidad de Pekín.
- Cardona, & Vasquez. (2019). Dispositivos de asistencia para la movilidad en personas con discapacidad visual: una revisión bibliográfica. *Revista Politécnica*, 15(28), 107-116. [https://www.researchgate.net/publication/334185545\\_Dispositivos\\_de\\_asistencia\\_para\\_la\\_movilidad\\_en\\_personas\\_con\\_discapacidad\\_visual\\_una\\_revisi%C3%B3n\\_bibliogr%C3%A1fica](https://www.researchgate.net/publication/334185545_Dispositivos_de_asistencia_para_la_movilidad_en_personas_con_discapacidad_visual_una_revisi%C3%B3n_bibliogr%C3%A1fica)
- CONADIS. (31 de Diciembre de 2020). *Sistema de indicadores de la población con discapacidad inscritas en el CONADIS*. <https://sistemas.conadisperu.gob.pe/indicadores/public/>

- CourseHero. (2021). *Definición de Movimiento*. Obtenido de Universidad Educativa La Libertad: <https://www.coursehero.com/file/91919100/MOVIMIENTOtxt/>
- DOCE. (2021). *Discapitados Otros Ciegos de España*.  
<https://asociaciondoce.com/que-es-la-ceguera-legal/>
- Duracell. (2021). *Apple 616-00471 Batería (1 Celdas)*.  
<https://www.duracelldirect.es/movil-tablet/apple/oem-pno/616-00471--h9af6v.html>
- Element14. (S/F). *Raspberry Pi 3 Model B+*.  
<https://www.element14.com/community/docs/DOC-88853/1/raspberry-pi-3-model-b-plus-b-technical-specifications>
- Farías, R. (2010). *Actividades en el trabajo grupal musicoterapéutico en niños con discapacidad visual y déficit asociados*. Santiago de Chile (Chile): Universidad de Chile.
- González, R. (2017). *Phyton para todos*. Creative Commons.
- Javier, T. A. (2013). *Aplicación de sistemas de información de costos en una empresa de Mendoza*. Mendoza (Argentina): Universidad Nacional de Cuyo.
- Leonelli, A. (S/F). *Baterías y Pilas*. Buenos Aires (Argentina): TV Group Solución Profesional.
- Maduell, E. (2012). *Visión artificial*. Barcelona (España): Universidad Abierta de Cataluña.
- Martínez Susanaga, J. M. (2017). *Sistema de visión artificial para la detección de espacio ocupado en lugares cerrados*. Bogotá (Colombia): Universidad Santo Tomás.
- MCI Electronics. (S/F). *Raspberry Pi*. <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- Ministerio de Salud. (17 de Noviembre de 2014). *En el Perú cerca de 160,000 personas son invidentes y unas 600,000 sufren de alguna discapacidad visual*.  
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/31145-en-el-peru-cerca-de-160-000-personas-son-invidentes-y-unas-600-000-sufren-de-alguna-discapacidad-visual>

- Miranda, C. A., & Aguirre, Y. E. (2018). *Implementación de un prototipo electrónico basado en tarjetas de desarrollo para el desplazamiento, lectura de texto impreso y localización de personas con discapacidad visual*. Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Muñoz S., J. (2013). Las TIC y la discapacidad visual. *Centro de Investigación Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica*.  
[https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/13227/CC-127\\_art\\_18.pdf?sequence=1](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/13227/CC-127_art_18.pdf?sequence=1)
- Organización Mundial de la Salud. (26 de Febrero de 2021). *Ceguera y discapacidad visual*. Recuperado el 8 de Mayo de 2021, de Datos y cifras:  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Padrón, F. A. (2013). *Baterías: Estado del arte y vigilancia tecnológica*. Medellín (Colombia): Universidad Pontificia Bolivariana.
- Panasonic. (2012). *Panasonic Battery Group NCR18650B*.  
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/597043/PANASONICBATTERY/NCR18650B.html>
- Pixabay. (S/F). *Increíbles imágenes gratis para descargar*. <https://pixabay.com/es/>
- Quezada, J. M. (2014). *Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas*. Lima (Perú): Pontificia Universidad Católica del Perú.
- RAE. (2021). *Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/gu%C3%ADa>
- RAI. (2021). *Real Academia de Ingeniería*.  
<http://diccionario.raing.es/es/lema/ambiente-controlado>
- Raspberry. (2016). *Cámara Pi NoIR V2*. <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>
- Romero, D., & Rodríguez, F. (2018). *Diseño de un Sistema Portátil para la Detección de Obstáculos por medio de Kinect, como Apoyo a Personas con Limitaciones Visuales*. Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Samsung, S. (2015). *Batería Li-Ion recargable para herramientas de poder (INR18650-30Q)*. Colombia: Energy Business Division.



- Sanabria, J., & Archila, J. (2011). Detección y análisis de movimiento usando visión artificial. *Scientia et Technica*, 3-5.
- Santiago. (2013). *Comunicaciones vía fibra óptica utilizando modulación de retardos ópticas como portadoras de información*. Tonantzintla (México): Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, y Electrónica.
- Santiago, V. M. (2012). *Diseño, integración y experimentación de un sistema 3D de navegación para personas invidentes*. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia.
- Schwab, K. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial*. Barcelona (España): Editorial Debate.
- Sobrado, E. A. (2003). *Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot*. Lima (Perú): Pontificia Universidad Católica del Perú.
- XiaomiStore. (S/F). *Flex Motor Vibrador Para Xiaomi*. Obtenido de Xiaomi Store: <https://xiaomistore.com.mx/flex-vibrador/10535-flex-motor-vibrador-para-xiaomi.html>



César Arturo Niño Carmona  
Universidad Nacional de Piura

<https://orcid.org/0000-0002-0981-0822>

cnino@unp.edu.pe

Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, Magister en Docencia Universitaria, Doctorando en Ingeniería Industrial. Docente asociado adscrito 12 años al Departamento Académico de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Piura, investigador en Sistemas on chip basado en FPGA, Redes Neuronales y jurado de tesis de pregrado. Renacyt Investigador con registro P0053210, en el grupo de María Rostworowski II.



JJorge Carlos Mogollon Rojas  
Universidad Nacional de Piura

<https://orcid.org/0000-0002-8639-9889>

jorge.mogollon.jcmr@gmail.com

Bachiller en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Piura. Profesional con experiencia en equipos biomédicos, programación en microcontroladores.



David Alama Carreño  
Universidad Nacional de Piura

<https://orcid.org/0000-0003-3487-2731>

davidalama96@gmail.com

Bachiller en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Piura. Profesional con experiencia en equipos biomédicos, programación en microcontroladores.



Manuel Jesús Sánchez Chero  
Universidad Nacional de Frontera

<https://orcid.org/0000-0003-1646-3037>

msanchezch@unf.edu.pe

Ingeniero de Sistemas, Magister en docencia universitaria, doctorado en educación, Docente Asociado adscrito a la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Frontera, Investigador Renacyt con registro P0011796, en el grupo de Carlos Monge Medrano, Nivel III. Con amplia experiencia en publicaciones y proyectos de investigación en el área de Ingeniería.



Cecilia Lizeth Risco Ipanaqué  
Universidad Nacional de Frontera

<https://orcid.org/0000-0002-7738-5717>

crisco@unf.edu.pe

Ingeniera Informática, Maestro en Administración con mención en Gerencia Empresarial, doctorando en Tecnología de Información y Comunicaciones en la Universidad Nacional de Piura, jefa de la Oficina de Tecnología de Información y Comunicaciones de la Universidad Nacional de Frontera.



KKarina Silvana Gutiérrez Valverde  
Universidad Nacional de Frontera

<https://orcid.org/0000-0001-8079-8371>

kgutierrez@unf.edu.pe

Licenciada en Física por la Universidad Nacional de Piura, Maestra en Ciencias Físicas por la Universidad Nacional de Trujillo, Magister en Matemática Aplicada por la Universidad Nacional de Piura. Recientemente egresada del Doctorado de Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional de Piura; cuento con 15 años de experiencia docente; perteneciente a línea de investigación Grafeno en Universidad Nacional de Trujillo, investigadora calificada por el CONCYTEC; Co-Investigadora en proyecto ganador con fondos concursables por la UNF. Miembro del Colegio Nacional de Físicos del Perú 2018-2022.



ISBN: 978-9942-8957-4-5

