



# **SISTEMA IoT PARA ASISTIR A PERSONAS INVIDENTES - BLIND-NET**

**Andrés Alejandro Díaz Toro, Sixto Enrique Campaña Bastidas**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Pasto, Colombia**

## **Resumen**

En el mundo se estima que alrededor de 1300 millones de personas padecen alguna forma de deficiencia visual, de las cuales un poco más de 237 millones se consideran invidentes, en Colombia según el DANE, las estadísticas indican que más de un millón novecientas mil personas tienen esta discapacidad, lo que hace que esta situación sea tomada en cuenta y sea actualmente el foco de muchas investigaciones y avances científicos que propendan por ayudar al desarrollo normal de las personas que padecen la misma. Acorde con lo anterior, en el presente avance de investigación se describe un sistema apoyado en Internet de las Cosas (IoT) y dispositivos electrónicos, el cual busca asistir a personas invidentes en el desarrollo de sus actividades diarias, permitiéndoles guiarse y desenvolverse en entornos cerrados sin la ayuda de los bastones que usualmente utilizan.

El sistema en desarrollo, denominado BLIND-Net, se compone de una cámara de vídeo RGB que inspecciona el entorno o lugar donde se encuentra la persona invidente, cuenta también con una tarjeta Jetson TX2, que es la que se encarga de procesar las imágenes capturadas por la cámara y mediante un algoritmo diseñado para la identificación de zonas seguras y obstáculos, envía señales de alerta a un cinturón háptico que le permite a la persona invidente detectar los espacios por los cuales puede circular y aquellos que debe evitar. Como mejora del sistema BLIND-Net, se está analizando la alternativa de sustituir la tarjeta Jetson por un procesamiento en la nube de los datos capturados por la cámara RGB y así evitar el peso de los equipos en el cuerpo de la persona que lo utiliza y mejorar el diseño ergonómico del sistema en desarrollo.

El objetivo principal de BLIND-Net es contribuir con herramientas tecnológicas de la industria 4.0 aplicadas a personas con discapacidad visual, mediante la implementación de un sistema basado en visión, que asiste a personas invidentes en actividades de navegación en entornos de interior

desconocidos, detectando obstáculos, espacios por donde caminar y objetos de interés como puertas, sillas, gradas, computadores, entre otros, que junto con un módulo de planeación de trayectoria, permita a las personas con esta discapacidad alcanzar estos objetos de forma segura (navegación con objetivo). La investigación se ha clasificado de tipo exploratoria descriptiva, debido a que se parte del análisis de diseños similares en soluciones para invidentes y se propone una metodología y un sistema específico orientado a la solución del problema identificado.

Las tecnologías de la industria 4.0, tales como la Internet de las Cosas, se han convertido en los últimos años en alternativas novedosas para dar solución a problemas del contexto real, en el proyecto descrito IoT es una opción que permite aplicar sus principios en la orientación y guía visual que necesita una persona que no dispone de este sentido necesario para desenvolverse en entornos cerrados, sin la necesidad de los comunes bastones diseñados para este proceso.

**Palabras clave:** personas invidentes; internet de las cosas; deficiencia visual; procesamiento de imágenes

### **Abstract**

*In the world it is estimated that around 1,300 million people suffer from some form of visual impairment, of which a little more than 237 million are considered blind, in Colombia according to DANE, statistics indicate that more than one million nine hundred thousand people have this disability, which makes this situation be taken into account and is currently the focus of many research and scientific advances that aim to help the normal development of people who suffer from it. In accordance with the above, this research advance describes a system supported by the Internet of Things (IoT) and electronic devices, which seeks to assist blind people in the development of their daily activities, allowing them to guide and function in closed environments without the help of the walking sticks they usually use.*

*The system under development, called BLIND-Net, consists of an RGB video camera that inspects the environment or place where the blind person is, it also has a Jetson TX2 card, which is responsible for processing the captured images Through the camera and through an algorithm designed to identify safe areas and obstacles, it sends warning signals to a haptic belt that allows the blind person to detect the spaces through which they can circulate and those that they must avoid. As an improvement to the BLIND-Net system, the alternative of replacing the Jetson card with processing in the cloud of the data captured by the RGB camera is being analyzed, thus avoiding the weight of the equipment on the body of the person using it and improve the ergonomic design of the system under development.*

*The main objective of BLIND-Net is to contribute with industry 4.0 technological tools applied to visually impaired people, through the implementation of a vision-based system, which assists blind people in navigation activities in unknown indoor environments, detecting obstacles , spaces to walk through and objects of interest such as doors, chairs, stands, computers, among others, which together with a trajectory planning module, allow people with this disability to reach these objects safely (navigation with objective). The research has been classified as a descriptive exploratory*



*type, since it starts from the analysis of similar designs in solutions for the blind and a methodology and a specific system aimed at solving the identified problem is proposed.*

*Industry 4.0 technologies, such as the Internet of Things, have become in recent years novel alternatives to solve problems in the real context, in the described project IoT is an option that allows applying its principles in the orientation and visual guide needed by a person who does not have this sense necessary to function in closed environments, without the need for the common walking sticks designed for this process.*

**Keywords:** *blind people, internet of things; visual impairment; image processing*

## 1. Introducción

Según registros estadísticos del CENSO poblacional del DANE de 2018, el 7,2% de la población colombiana tiene algún grado de discapacidad, datos que evidencian un crecimiento con respecto al censo del 2005, en el cual este valor estaba en 6.4%; siendo relevante que más de un millón novecientas mil personas cuentan con algún grado de discapacidad visual, las cuales representan el 43,5% del total de personas con discapacidades. De este último grupo, aproximadamente 18.952 son personas menores de cinco años de edad y 83.212 son niños entre 5 y 11 años. Situación que se torna importante y con necesidad apremiante de tomar cartas en el asunto para poder ayudar a mitigarla, principalmente en lo relacionado a brindar opciones y garantías para que este tipo de personas pueda desarrollarse y desenvolverse en la vida cotidiana de manera normal y con las mismas oportunidades de personas que no padecen ningún tipo de discapacidad.

Acorde a lo anterior en este documento se presenta el avance en el desarrollo de un proyecto de investigación que se viene adelantando en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, con el grupo Davinci, el cual relaciona un sistema portátil para asistir a personas invidentes en la detección de obstáculos y trazado de rutas principalmente, donde también se está analizando la posibilidad de convertirlo en un sistema de Internet de las Cosas (IoT), que permita trabajar los datos en una nube, con el fin de disminuir la cantidad de equipos que deben utilizar las personas invidentes para lograr el fin propuesto.

Actualmente el sistema ha avanzado en la implementación de un sistema basado en visión, que asiste a personas invidentes en actividades de navegación en entornos de interior desconocidos, detectando obstáculos, espacios por donde caminar y objetos de interés como puertas, sillas, gradas, computadores, entre otros, que junto con un módulo de planeación de trayectoria, permite al usuario alcanzar estos objetos de forma segura (navegación con objetivo). Dentro del sistema desarrollado se tienen dos restricciones para su implementación. 1. Las imágenes deben ser procesadas en un computador portátil, es decir, en un dispositivo de cómputo pequeño y liviano. 2. Las imágenes deben ser procesadas en tiempo real para poder desempeñarse en ambientes altamente dinámicos y para proporcionar realimentación inmediata al usuario. Inicialmente para cumplir con los requerimientos del sistema se ha usado un supercomputador portátil y un módulo de realimentación háptica basado en motores vibratorios.



En el nuevo modelo propuesto se piensa cambiar el supercomputador portátil por un procesamiento remoto en una nube que cuente con las características necesarias que le permitan al sistema realizar lo que hasta ahora se ha logrado en tiempo real con los equipos in situ, para lo cual se mantendrán la cámara RGBD y el cinturón háptico para realimentación, pero se incorporará un módulo de hardware con conexión a Internet que envíe las imágenes a la nube y retransmita la respuesta en tiempo real al cinturón antes mencionado. En el documento se describirá el sistema actual desarrollado, se mencionarán algunas pruebas realizadas y se explicarán los cambios propuestos para que se convierta en un sistema IoT.

## **2. Sistema basado en visión para asistir a personas invidentes**

El fin del proyecto es desarrollar un sistema basado en visión (BlindNet), que asista a personas invidentes en el desarrollo de su vida diaria, aprovechando para lograr el mismo la tecnología que actualmente existe en el mundo. El tema propuesto y en desarrollo, está siendo trabajado por muchos investigadores a nivel nacional e internacional, algunos con iniciativas que proponen incorporar tecnología en los bastones de la personas invidentes como el de (Sarmiento, 2019), otros con soluciones de sensores ultrasónicos con ayuda de dispositivos sonoros para alertar de los obstáculos encontrados, tales como (Patón, 2018), entre otros (Gennaro, 2017), (Ballesteros, 2017) y (Leutenegger et al, 2013), todos con el mismo fin, ayudar a las personas invidentes en el desarrollo de su vida norma, haciendo uso de la tecnología.

En relación con la propuesta que se está trabajando en la UNAD, se trata de un sistema compuesto por unos dispositivos de hardware y el desarrollo de unas aplicaciones de software que buscan cumplir con el objetivo anteriormente mencionado. Es importante mencionar que el sistema que se ha desarrollado, trabaja con un enfoque basado en vehículos autónomos, donde los elementos que se tuvieron en cuenta para su diseño fueron: tiempo de rendimiento, manejo de entornos desconocidos, procesamiento robusto a entornos dinámicos y que sea seguro para el usuario, para las personas y los objetos a su alrededor.

### **2.1. Elementos de hardware BlindNet**

En la figura 1, se puede observar los elementos que se han adquirido para el funcionamiento del sistema propuesto, donde se puede identificar una cámara RGBD con un sensor de localización, una tarjeta Jetson TX2 y un cinturón de realimentación háptica.



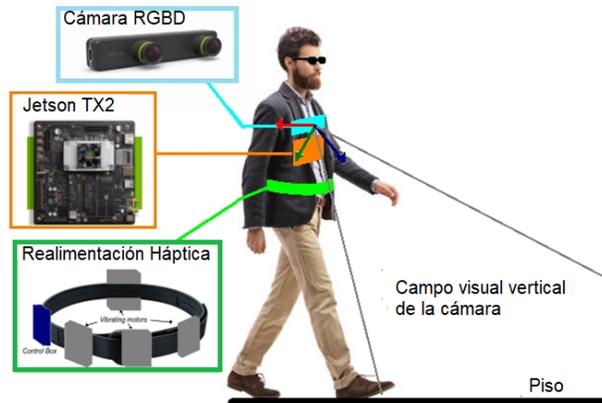


Figura 1. Elementos de hardware Sistema basado en visión para asistir a personas invidentes

La cámara empleada en el sistema es una estero ZED Mini de Stereolabs, la cual se ubica en el pecho del usuario, de manera que tenga una visión amplia del entorno del mismo cuando este se mueva por diferentes espacios. La cámara tiene alta resolución (hasta  $4416 \times 1242$  píxeles) alta velocidad de fotogramas (hasta 100 fps a baja resolución), amplio campo de visión ( $90$  (H)  $\times$   $60$  (V)  $\times$   $110$  (D)), amplio rango de medición en profundidad (de  $0,15$  ma  $12$  m), un sistema de localización de alta precisión basado en SLAM visual-inercial (localización y mapeo simultáneos como los implementados en sistemas similares en (Mur-Artal, 2017) y (Redmon and Farhadi, 2018)). La localización tiene una precisión de  $\pm 1$  mm en posición y  $0,1$  en orientación (ver figura 2).

La tarjeta Jetson TX2, cumple con las labores de procesamiento de los datos o imágenes que son capturadas por la cámara, la cual corresponde a un dispositivo NVIDIA Jetson TX2, que contiene una plataforma integrada con la Nvidia Denver2+ de cuatro núcleos ARM Cortex-A57 de doble núcleo, una unidad de procesamiento de gráficos para acelerar el procesamiento de datos: la Nvidia Pascal con 256 núcleos y 8 GB de memoria. Esta tarjeta corresponde a la supercomputadora mencionada anteriormente, la cual es empleada para ejecutar el componente de software desarrollado, que además contiene los algoritmos de visión y análisis de inteligencia artificial, que requieren portabilidad y rendimiento en tiempo real. Esta tarjeta viene con el sistema operativo Linux, distribución Ubuntu 16.04 y con un paquete con las principales librerías necesarias para el sistema propuesto que corresponden a: librerías de visión por computadora, librerías de machine learning, visualización 3D, programación paralela, entre otras. La ubicación de este dispositivo también es el pecho, y está en medio del cinturón háptico y la cámara antes mencionada (ver figura 2).



Figura 2. Cámara Stereolabs y Jetson TX2



Por último, en los componentes de hardware se tiene el cinturón háptico, el cual corresponde al dispositivo de realimentación o de indicación al usuario para que detecte y evite un obstáculo. Este cinturón está compuesto de motores de vibración ubicados alrededor del mismo, específicamente cuenta con tres motores, en el centro, otro a la izquierda, otro a la derecha y uno en la parte trasera. El cinturón se puede ajustar para adaptarse a la cintura del usuario, independientemente de su edad y estructura corporal. Los motores vibradores se alimentan con 3V y se controlan con una señal PWM proveniente del Arduino Nano y drivers para motores DC, con referencia 6612FNG. La comunicación del Arduino Nano y el Jetson TX2 tiene dos opciones: comunicación serial con conexión USB y Bluetooth. El cinturón tiene su propia batería, por lo que se puede utilizar independientemente del kit de desarrollo Jetson TX2. En la figura 3 se puede observar el cinturón.

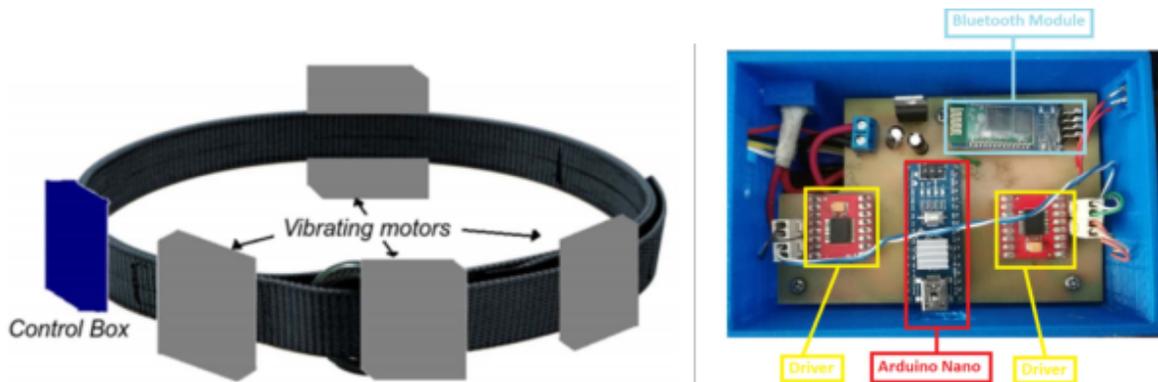


Figura 3. Cinturón háptico Sistema para invidentes

## 2.2. Elementos de software BlindNet

Aparte del sistema operativo de la tarjeta Jetson TX2, las librerías para procesar imágenes, herramientas de machine learning y librerías para el funcionamiento de los dispositivos mencionados en los elementos de hardware del proyecto, el sistema propuesto ha permitido el desarrollo de una aplicación de software que permite analizar las imágenes que captura la cámara para que mediante el procesamiento en la tarjeta Jetson TX2, genere una realimentación que debe ser interpretada por el cinturón háptico antes mencionado, el cual asistirá a la persona invidente para la detección de obstáculos en entornos cerrados. La aplicación de software desarrollada, parte de la definición de dos algoritmos, uno para ayudar a las personas invidentes a deambular en entornos desconocidos (ver algoritmo 1) y otro para determinar la ecuación del plano que mejor se ajusta a los datos de entrada, es decir para analizar y determinar de manera correcta espacio libres y ocupados en el entorno que transita la persona (Ver algoritmo 2).



---

**Algorithm 1:** Pseudocode for assisting blind people to wander unknown indoor environments

---

**Data:** RGB data, depth data and camera pose data  
**Result:** Global Occupancy 2D grid and commands through the haptic belt

**while** *system is running* **do**  
 get data from camera;  
 apply rotation  $\text{Rot}(x, -\alpha)$ ;  
 concatenate current camera transformation;  
 build a global point cloud and normal vectors;  
**if** *first iteration* **then**  
 apply the two conditions proposed for initial segmentation of the point cloud;  
 apply RANSAC for computing the equation of the plane;  
**end**  
 apply transformation for moving points that belong to the floor to the  $xz$ -plane;  
 build/expand the occupancy 2D grid;  
 run the reactive navigation algorithm;  
 generate commands through the haptic belt;  
**end**

---

Algoritmo 1. Asistencia Invidentes (Diaz et al, 2020)

---

**Algorithm 2:** Pseudocode for computing the equation of the plane that best fits input data, using RANSAC

---

**Data:** Point cloud resulting of an initial segmentation of the floor (with outliers)  
**Result:** Parameters  $\hat{n}_i$  and  $d_i$  of the equation of the plane that best fits input data  
 Computes maximum number of iterations  $k$ , eq. (17);

**for** ( $i = 1$  to  $k$ ) **do**  
 Select randomly 3 points from input data;  
 Build vectors  $v_1$  and  $v_2$ , eq. (12);  
 Compute unit normal vector  $\hat{n}_i$ , eq. (13);  
 Compute  $d_i$  using  $\hat{n}_i$  and a point from the 3 points previously selected, eq. (15);  
**for** (*all points  $P_m$  in the input data*) **do**  
 Compute distance  $\text{diff}_m$  from point  $P_m$  to plane  $i$ , eq. (16);  
**if** ( $\text{diff}_m < Th_{\text{RANSAC}}$ ) **then**  
 counter $_i$ +1;  
**end**  
**end**  
**end**  
 Find  $i$  for  $\max(\text{counter}_i)$ ;  
 Define model  $i$  ( $\hat{n}_i, d_i$ ) as the model that best fits data;

---

Algoritmo 2. Asistencia Invidentes (Diaz et al, 2020)



### 2.3. Funcionamiento del sistema

El sistema propuesto es funcional y se puede utilizar tanto en personas adultas, como en niños, con respecto a los dispositivos que hacen parte del mismo, se han diseñado elementos ergonómicos que permiten ubicarse en las personas mediante correas que los ajustan al cuerpo. La cámara y el procesador se ubican en el pecho, el cinturón, tiene un diseño en forma de correa, la cual es ajustable y permitirá la realimentación de los obstáculos encontrados. En términos generales el funcionamiento del sistema, corresponde a un proceso donde la cámara analiza el entorno o ambiente por el cual se mueve la persona invidente, capturando varias imágenes por segundo y enviando dicha información a la tarjeta Jetson TX2 para su procesamiento, en la cual se han programado los algoritmos antes mencionados, permitiendo identificar zonas con obstáculos y zonas libres por las cuales la persona puede deambular. Este proceso se hace en tiempo real; con la información procesada, la Jetson TX2, envía la realimentación al cinturón háptico, para que de acuerdo a lo encontrado haga vibrar los motores que este contiene, significando, que si vibra en la parte frontal, existen obstáculos al frente de la persona, si vibra el motor de la derecha, los obstáculos estará en esta posición y lo mismo con el motor de la izquierda. Con esta información la persona invidente podrá determinar la ruta que debe seguir, la cual debe ser lejos de las zonas que los motores del cinturón vibran.

### 3. Pruebas de funcionamiento realizadas

Para probar la utilidad del sistema, la pertinencia de los dispositivos que hacen parte del mismo y la respuesta del software desarrollado, se han realizado diferentes pruebas en la medida que ha avanzado la investigación. En las últimas pruebas realizadas, se trabajó con seis participantes de diferentes edades y géneros, algunos videntes y otros invidentes. Los resultados que arrojó este proceso fue que el sistema funciona acorde a lo esperado, con algunas recomendaciones por parte de los participantes invidentes de utilizar dispositivos más livianos y ergonómicos que les faciliten el uso del mismo. El sistema maneja una precisión media de percepción háptica del 90,83%, que se considera apropiada para guiar a las personas ciegas a un espacio transitable en un entorno desconocido. En la tabla 1, se pueden observar los resultados obtenidos con las seis personas que utilizaron el sistema, relacionando la precisión obtenida para guiar a las mismas en el entorno propuesto desconocido.

Tabla 1. Resultados pruebas realizadas

Participante	Género	Invidente	Precisión
1	Femenino	No	80%
2	Masculino	No	95%
3	Masculino	No	95%
4	Masculino	No	85%
5	Femenino	Si	100%
6	Femenino	Si	90%
<b>Promedio Precisión</b>			<b>90,83%</b>





Figura 4. Entorno desconocido y persona invidente para las pruebas del sistema

Acorde con la tabla 1 y el proceso de pruebas realizado, se pudo verificar el funcionamiento de los dispositivos, encontrando que la propuesta y la articulación de los mismos respondió según lo esperado, en esta parte surgieron algunas posibilidades de utilizar la cámara en una gorra, lo cual permitiría mayor amplitud del entorno en el que se mueve la persona invidente, así como también sugirieron que se busque otra tarjeta procesadora, preferiblemente más liviana y fácil de llevar. En lo relacionado con el software, con todos los participantes se hizo una primera prueba de calibración para que detectarían las vibraciones y les permitiera tener una idea en el momento de usarlo en el entorno desconocido. Todos respondieron satisfactoriamente y al final se hizo la prueba en el entorno organizado para la misma, ver figura 4. La estadística encontrada en las pruebas, indica que los errores a la hora de interpretar la señales por medio de los motores vibradores estuvieron por debajo del 10%, encontrando que una persona interpretó correctamente cada señal y la que menor interpretó las mismas, llegó al 80% de precisión.

#### 4. BlindNet hacia un sistema IoT

Teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por las personas que probaron el sistema de visión asistida para personas invidentes, se ha analizado la posibilidad de diseñar el mismo con elementos que permitan construir una versión IoT. Es decir, en la nueva versión del sistema se seguirá utilizando cámara RGBD propuesta o se buscará una de un tamaño menor, pero de igual capacidad; el cinturón háptico mantendrá su diseño, pero también se buscarán elementos de menor tamaño, pero con la misma funcionalidad para que puedan guiar a las personas que lo utilicen; y el cambio estaría en la tarjeta Jetson TX2, la cual se cambiaría por una tarjeta ESP32 o una similar que permita capturar los datos que entrega la cámara y enviarlos a un servicio de procesamiento en la nube, la cual deberá tener la característica de poder procesar imágenes en tiempo real, albergar los algoritmos de machine learning que se han implementado actualmente en la Jetson TX2 y generar una respuesta que debe ser enviada directamente a la tarjeta Arduino Nano del cinturón háptico para que indique la ruta que la persona que usa el sistema debe tomar. En la figura 5, se describe la nueva propuesta del sistema BlindNet como una solución IoT.



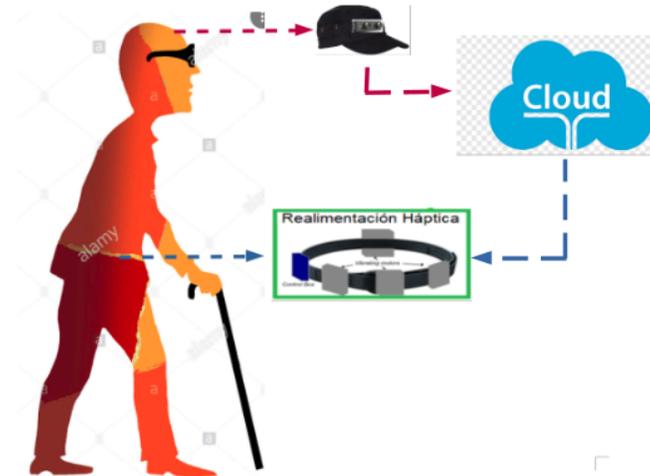


Figura 5. Propuesta IoT BlindNet

La nueva propuesta IoT, permitirá que el sistema sea más liviano, que es algo que las personas que han probado la versión inicial han manifestado como necesario, el proyecto avanzará en este proceso, se espera encontrar resultados satisfactorios y hacer realidad un sistema que asista a personas invidentes para poder desplazarse y movilizarse en entornos desconocidos, ahora con tecnología IoT.

## 5. Conclusiones

Con lo avanzado hasta el momento en el proyecto, en primera instancia se ha podido evidenciar que la tecnología es un baluarte y una opción factible en el diseño de soluciones para personas con discapacidad, en el caso especial que atañe para aquellas que tienen problemas de visión. Por otra parte, y desde el punto de vista tecnológico, la solución planteada demuestra que es factible la transferencia de tecnologías de automóviles autónomos al campo de las herramientas de asistencia para personas invidentes, dado que se cumplen los requerimientos en los cuales la tecnología inicialmente fue planteada. Por último, el siguiente paso de llevar la solución a IoT, se evidencia factible y será uno de los nuevos tópicos que tome la investigación, principalmente en procura de diseñar y desarrollar una solución más confortable y ergonómica para las personas que la requiere, acorde con los requerimientos planteados por quienes realizaron las pruebas propuestas.

## 6. Referencias

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. 2018 consultado el 15 de junio de 2021 en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/informacion-tecnica>.
- Sarmiento Vizcaíno, Y. (2019). Desarrollo de un bastón electrónico para el desplazamiento y ubicación de personas con discapacidad visual (Doctoral dissertation).



- Patón Valentín, P. (2018). Sistema de detección de obstáculos aéreos para invidentes DIY.
- Di Gennaro, E. (2017). SISTEMA DE DETECCION DE OBSTACULOS PARA INVIDENTES (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DR. RAFAEL BELLOSO CHACIN).
- Ballesteros, W. F. R. (2017). Sombrero electrónico con ultrasonido para la orientación de personas con discapacidad visual (Electronic hat with ultrasound for orientation of persons with visual disability). *Inclusión & Desarrollo*, 4(1), 92-96.
- S. Leutenegger, P. Furgale, V. Rabaud, M. Chli, K. Konolige, and R. Siegwart, "Keyframe-based visual-inertial slam using nonlinear optimization," 06 2013.
- R. Mur-Artal and J. D. Tardes, "Orb-slam2: An open-source slam system for monocular, stereo, and rgb-d cameras," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 5, pp. 1255–1262, Oct 2017.
- J. Redmon and A. Farhadi, "Yolov3: An incremental improvement," arXiv, 2018.
- Díaz-Toro, A. A., Campaña-Bastidas, S. E., & Caicedo-Bravo, E. F. (2021). Vision-Based System for Assisting Blind People to Wander Unknown Environments in a Safe Way. *Journal of Sensors*, 2021.

## Sobre los autores

- **Andrés Alejandro Díaz Toro:** Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería con énfasis en automática, Doctor en Ingeniería eléctrica y electrónica. Docente – Investigador – UNAD. andres.diaz@unad.edu.co
- **Sixto Enrique Campaña Bastidas:** Ingeniero de Sistemas, Especialista en redes y servicios telemáticos, Magister en Software Libre, Doctor en Ingeniería – área telecomunicaciones. Docente Asociado – Investigador – UNAD. sixto.campana@unad.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

