

Orientation Assistance for Visually Impaired Passengers within a Bus Rapid Transit System (Transmilenio), Using Satellite Geolocation

Orientación de pasajeros con discapacidad visual dentro del sistema de transporte masivo Transmilenio, mediante geolocalización satelital

Julián Camargo¹, Luis González², Diego Segura³, Fabián Garay⁴, Nubia Rincón⁵

¹⁻⁵Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá – Colombia.

²Businessmind Colombia – BMIND.

³Universidad de los Andes. Bogotá – Colombia

⁴Escuela Militar de Suboficiales Sargento Inocencio Chincá. Nilo – Colombia.

Correspondence: jrcamargol@udistrital.edu.co¹, luagonzalez², dasegurag³, fsgaray⁴@correo.udistrital.edu.co, nubiabioing@yahoo.es⁵

Recibido: 18/01/2017. Modificado 15/03/2017. Aceptado: 10/04/2017.

Abstract

Context: Although the mass-transport system Transmilenio provides audio information for travelers' guidance, this is not helpful enough to blind users who are not able to transit easily within the system. For these reason, portable guidance devices are needed to improve the level of autonomy of the visually impaired people while using the transport system.

Method: A review of aid devices to improve the level of autonomy of people with visual impairment was conducted so as to define the most practical technology for building an affordable device usable in the city of Bogotá. Subsequently, the functional modules of the device were defined, including file storage, sound reproduction, user interface and satellite geolocalization and location. Once built, the operation of the device was tested with 10 volunteers in condition of visual impairment who were oriented with the device between two main stations of one Transmilenio line; a final statistical study was conducted on the operation and usability perception of the device by the users.

Results: 100 % of the users were able to reach their destination successfully in the pilot test. In regards to the usability perception, users highlighted features such as sound indications for setting the device and orientation guidance throughout the journey. On the other hand, one of the main difficulties found was to correctly identify the bus approaching the stop and similarly locating the corresponding boarding door, as multiple bus routes may alight in the same door.

Conclusions: The device was built incorporating low-cost technologies intended to make it affordable in an eventual mass—scale production. Likewise, a discreet design was chosen so as to lessen the risk of robbery, which unfortunately is a frequent issue in the Transmilenio system due to overcrowding of buses and stations. Additionally, we remark that the prototype can be made smaller by using special—purpose circuit boards. Policy-makers may take into account these considerations for an eventual wide implementation as part of governments' plans for mobility inclusion in mass-transport systems for disabled people, in comparison with other alternatives such as smart cell phones.

Keywords: Mobility for blind, mass transport, portable Geolocation.

Language: Spanish

Open access



Citación: J. Camargo, L. González, D. Segura, F. Garay, N. Rincón, "Orientation Assistance for Visually Impaired Passengers within a Bus Rapid Transit System (Transmilenio), Using Satellite Geolocation" INGENIERÍA, vol. 22, no. 2, pp. 283-297, 2017. ©Los autores; titular de derechos de reproducción Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En línea DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.reveng.2017.2.a08>

Resumen

Contexto: Aunque el sistema de transporte masivo Transmilenio posee medios de audio informativo, estos son insuficientes para permitir que pasajeros en condición de discapacidad visual puedan desplazarse con mayor facilidad, ubicar puertas de acceso y rutas de desplazamiento. En este artículo se propone la utilización de un dispositivo portátil de bajo costo acondicionado con geolocalización satelital, buscando mejorar la autonomía de desplazamiento de ese segmento de población dentro del sistema Transmilenio.

Método: Se realizó la revisión de los desarrollos que hasta ahora se han hecho para mejorar el nivel de autonomía de las personas en condición de discapacidad visual, un análisis necesario a la hora de definir la tecnología más práctica para el desarrollo de un dispositivo aplicable en la ciudad de Bogotá D.C.; posteriormente, se establecieron los módulos funcionales del dispositivo incluyendo el sistema de almacenamiento de archivos, el de reproducción de sonido, la interfaz de usuario y el de geolocalización y ubicación dentro de Transmilenio. Se realizaron pruebas con diez voluntarios en condición de discapacidad visual, quienes se orientaron con el dispositivo en el trayecto entre las estaciones de Transmilenio de Banderas y Ricaurte por la troncal de las Américas; finalmente, se elaboró un estudio estadístico sobre la percepción del funcionamiento del dispositivo por parte de los usuarios.

Resultados: El 100 % de los usuarios se trasladaron con éxito en las pruebas piloto. En la percepción de funcionamiento los usuarios destacaron que el dispositivo proporciona opciones útiles con indicadores auditivos para la administración del dispositivo y el traslado dentro del sistema; igualmente, se identificó la dificultad del usuario al momento de reconocer el bus correcto que llega a la parada, ya que en una misma puerta de llegada pueden converger varias rutas y el dispositivo no fue equipado con ningún mecanismo para diferenciar los buses.

Conclusiones: Este tipo de dispositivo representa un bajo costo para quien lo adquiera debido a los componentes electrónicos utilizados en su implementación; representa una ventaja en relación a la seguridad para su portador gracias al diseño discreto que posee, esto lo hace menos vulnerable a robos en comparación al de un dispositivo celular inteligente al que se le instale una aplicación móvil. De esta manera, el dispositivo puede ser incorporado como una herramienta dentro de la política de inclusión de la población en condición de discapacidad visual; sin embargo, se debe contemplar implementar la tecnología GSM-GPRS para el envío de mensajes de texto de alerta y el uso de placas con montajes de circuitos superficiales para disminución del tamaño del dispositivo.

Palabras clave: Movilidad para invidentes, transporte masivo, Geolocalización portátil.

Lenguaje: Español

1. Introducción

En la ciudad de Bogotá D.C., según datos del Observatorio de Movilidad de la Cámara de Comercio, el sistema de transporte masivo (Transmilenio) movilizó en 2014 a 2,3 millones de pasajeros diarios [1]; debido a esto, el sistema ha hecho esfuerzos para ofrecer mayores condiciones de inclusión para la población con discapacidades frente al transporte convencional de autobuses. Sin embargo, el acceso y uso de este sistema por la población bogotana en condición de discapacidad visual aún comprende dificultades en cuanto al acceso, compra de tiquetes, ingreso a los buses y, sobre todo, en la adquisición de información para estimar la ruta necesaria hacia su lugar de destino.

En Bogotá D.C., el Instituto Nacional para Ciegos (INCI) estimó que en el 2013 la ciudad contaba con 79 880 personas en condición de discapacidad visual; teniendo en cuenta esto, la administración de Transmilenio S.A. ha comenzado a generar alternativas para mejorar el acceso de estas

poblaciones al sistema, tal es el caso del proyecto de ayuda a las personas en condición de discapacidad por medio de un módulo de información braille de rutas SITP, realizado en colaboración con el INCI [2], y de la implementación de sistemas de audio en algunos buses que comunican a los pasajeros hacia qué estación se dirigen y qué paradas realiza dicha ruta. Sin embargo, estas iniciativas se quedan cortas al momento de generar autonomía en un usuario con discapacidad visual, pues no se les suministran las herramientas adecuadas para fijar previamente una ruta y así tomar decisiones de qué servicio o bus es el más adecuado para dirigirse a su destino.

Ante este escenario, se propone la utilización de un dispositivo portátil de bajo costo acondicionado con geolocalización satelital (GPS; Sistema de posicionamiento global), en busca de mejorar la autonomía de desplazamiento de ese segmento de población dentro del sistema Transmilenio. En este artículo se encontrará un análisis de algunas de las herramientas tecnológicas desarrolladas e implementadas para mejorar el acceso al transporte público de personas en condición de discapacidad visual; posteriormente, se describirán las fases del desarrollo del prototipo de dispositivo portable con asistencia GPS, el cual permite la obtención de los datos necesarios para facilitar al usuario invidente un mejor acceso y uso del sistema de transporte y, de igual manera, contribuir en la mejora de seguridad e independencia dentro del sistema. En la parte final, se describe un caso de estudio con el que se evaluó el desempeño del proyecto, se realizó en la ruta comprendida entre las estaciones de Transmilenio de Banderas hasta la estación de Ricaurte pertenecientes a la troncal de la avenida las Américas.

2. Dispositivos desarrollados para el mejoramiento en el acceso al transporte público a personas en condición de discapacidad

En esta sección se describen algunos de los desarrollos tecnológicos que se han implementado para mejorar la movilidad de la población invidente, los cuales han sido aplicados teniendo en cuenta las características específicas de los lugares de aplicación y de las condiciones de los usuarios. Estas aplicaciones representan ayudas potenciales para personas en condición de discapacidad y son el resultado del esfuerzo del desarrollo tecnológico para mejorar la calidad de vida de esta población [3]; igualmente, se exponen las diferencias de dichos desarrollos previos respecto al dispositivo propuesto en este documento.

2.1. Sistema de alerta de autobuses para pasajeros que permite la navegación de personas ciegas

Este sistema implementado en el 2015 en la ciudad de Pune, Maharashtra, por el Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de India, aplica redes de sensores inalámbricos (WSN) para guiar a los usuarios invidentes por el transporte público. El sistema consiste en posicionar una unidad RF en el bus, que es reconocida por otra unidad que posee la estación donde se encuentra el usuario en condición de discapacidad, estos son alertados mediante un zumbador que se enciende tan pronto como el autobús entra en la parada [4]. Este sistema es bastante útil como dispositivo de alerta, pues evita que el usuario tome rutas equivocadas en caso de que converjan muchas rutas en

una misma estación; sin embargo, aún no contempla la necesidad de autonomía que tiene el usuario dado que no permite la planificación de sus recorridos.

2.2. Sistema de información de transporte público para personas con impedimentos visuales y ciegos

La tecnología involucrada en este desarrollo utiliza los teléfonos móviles como medio para el sistema de información de pasajeros, el GPS (Sistema de posicionamiento global), GSM (Sistema global para comunicaciones móviles) y tecnologías Bluetooth para la localización y la comunicación. En el sistema propuesto, se dan mensajes de sonido a las personas ciegas a través de teléfonos móviles que tienen un software instalado [5]. Esta aplicación está dirigida a teléfonos inteligentes que, en muchas ocasiones, las personas discapacitadas no tienen la capacidad económica de obtener, además de la dependencia a una conexión a internet que los haría incurrir en gastos de planes celulares. Este sistema fue implementado en los sistemas de transporte de Warsaw y Nowy Sacz, Polonia.

2.3. Sistema portátil de localización de alcance medio que utiliza ledes infrarrojos para personas con discapacidad visual

Construido y pensado por miembros del Instituto de Ciencias de la Computación de la Universidad Jagiellonian en Polonia, este sistema hace uso de una baliza activa fija y un receptor cuyo método aplica el tiempo de vuelo por ultrasonido y un método de intensidad infrarroja diferencial; el método de intensidad infrarroja genera un campo de señal uniforme que alcanzó distancias aproximadas a los 30 m. Como trabajo futuro se propone el uso de un receptor de bolsillo que se adapte a un teléfono inteligente que lo haría portátil [6]. A pesar de ser un método de localización eficiente, no contempla una integración a los medios de transporte público como herramienta de apoyo a la realización de viajes por parte de la población invidente.

2.4. Navegación autónoma por la ciudad para ciegos

Este sistema aplica un software integrado a un GPS que se basa en audio para facilitar la navegación a través de espacios abiertos y estimular las habilidades de orientación y movilidad en personas ciegas. Desarrollado por investigadores de la Universidad de Santiago de Chile, este sistema le permite a los usuarios ciegos llegar a varios destinos en contextos desconocidos que habitualmente solo navegarían en compañía de otras personas [7]. Este desarrollo contribuye al desplazamiento de las personas en condición de discapacidad que quieran una alternativa para llegar a destinos de difícil acceso para el transporte público, por lo tanto no requiere de una integración con los medios masivos de transporte.

2.5. Sistema de reconocimiento de obstáculos para personas ciegas usando RFID (Identificación por radiofrecuencia)

La Escuela de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Al Akhawayn en Marruecos, desarrolló sistema de reconocimiento de obstáculos para personas ciegas, utiliza la identificación por radiofre-

cuencia (RFID). Está encaminado a la detección de cualquier obstáculo dentro del entorno recorrido por un usuario invidente a través de bastones RFID [8]. Esta aplicación se enfoca en el mejoramiento del desplazamiento de las personas en condición de discapacidad cuando se disponen a realizar caminatas, por lo que no contempla su aplicación dentro de medios de transporte motorizados.

2.6. Sistema inalámbrico de seguimiento de puertas para estaciones en el sistema Transmilenio

Este sistema realizado por investigadores de la Universidad Católica de Colombia realiza el seguimiento de puertas de forma inalámbrica, monitoreando el estado (abierto o cerrado) de las puertas de las estaciones de Transmilenio, como mecanismo de prevención contra accidentes relacionados a la seguridad de la población invidente expuesta a caídas en el sistema de transporte. Se desarrolló por medio de la tecnología inalámbrica Bluetooth y una interfaz elaborada en Raspberry PI [9]. Esta es una de las aplicaciones dirigidas concretamente al sistema masivo de transporte de Bogotá (Transmilenio), pero no corresponde a una herramienta que mejore la navegabilidad dentro de las estaciones o la planeación de rutas de viaje para usuarios en condición de discapacidad.

Como se puede deducir de lo anterior, los dispositivos estudiados presentan desventajas para permitir una mayor autonomía para la población en condición de discapacidad visual, dado que su desarrollo no se ha pensado para garantizar su navegación dentro de los sistemas masivos de las grandes ciudades. Teniendo esto en cuenta se propone desarrollar una aplicación tecnológica que centre sus esfuerzos en mejorar la capacidad autónoma del usuario entro del sistema de trasporte, por lo que en el siguiente sección se abordara la metodología para el diseño del mismo.

3. Metodología: diseño del dispositivo

El diseño y desarrollo del dispositivo se llevó a cabo por módulos, lo que permitió hacer una división estratégica del proyecto, basados en el concepto de sinergia: se desarrollaron por separado y posteriormente se unieron generando la solución final (Figura 1). Se propuso como módulo principal el de procesamiento, en el cual se encuentra el microcontrolador PIC18F46K22 donde se centraliza el tratamiento de la información mediante algoritmos implementados en lenguaje C; es así como se da inicio al desarrollo del dispositivo, para proseguir con el modulo GPS.

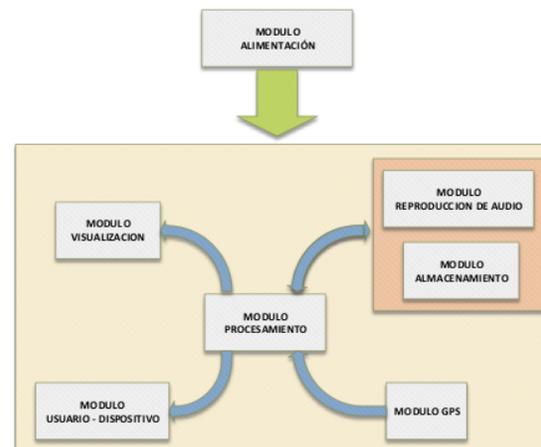


Figura 1. Diagrama de bloques – módulos dispositivos

El modulo GPS se configuró con una tasa de actualización de 1 Hz, donde se obtienen tramas con formato NMEA que brindan información de posicionamiento, hora, fecha y validación de datos confiables; a partir de esto, en el microcontrolador se desarrolla un buffer de almacenamiento que permite el uso de la información obtenida para el desarrollo de los algoritmos de ubicación y

selección de ruta.

El algoritmo de ubicación permite verificar si la posición actual pertenece a un área delimitada; estas áreas indican estaciones de Transmilenio y sitios estratégicos dentro del trayecto propuesto. Utilizando el software Google Earth se ubican cuatro puntos (A, B, C, D) con los cuales se delimita el área deseada (Figura 2).



Figura 2. Imagen estación Ricaurte, área para encerrar estación punto A, B, C, D. Fuente: captura imagen del software Google Earth Región Bogotá – Colombia

Para determinar si un punto arbitrario se encuentra dentro o fuera de un área definida, el planteamiento del algoritmo ASUME las siguientes premisas:

- El punto arbitrario debe estar (a nivel de longitud) entre los puntos B y D.
- Se evalúan dos pendientes en el punto arbitrario, una con respecto al punto C y otra con respecto al punto D.
- La pendiente con respecto al punto C debe ser mayor a la pendiente determinada entre el punto B y C.
- La pendiente con respecto al punto D debe ser menor a la pendiente determinada entre el punto A y D.

Si se cumplen todas las premisas anteriores el algoritmo ubica el punto arbitrario dentro del área seleccionada, en caso contrario se determina que no pertenece al área.

Seguidamente, utilizando la tarjeta MP3 shield de Sparkfun, se desarrollan los módulos de MP3 y almacenamiento. Esta tarjeta posee un DSP para decodificación de archivos MP3 y un socket para una tarjeta microSD. Para realizar una escritura sobre la microSD es necesario tener en cuenta el formato de archivos FAT32, microchip ofrece un Application Note AN1045 [10], el cual da información acerca de cómo configurar el microcontrolador para realizar escritura, lectura, creación y eliminación de archivos (entre otras funciones) en una tarjeta microSD.

Para el desarrollo de las pruebas iniciales, en las cuales se requiere verificar la información de una forma fácil y rápida, se implementa el módulo de visualización con un display LCD 16x2 @ 3.3V, en el cual se imprimen los datos de ubicación, fecha y hora tomados de las tramas del GPS (Figura 3). Este módulo hace parte de la solución final del dispositivo como un componente auxiliar que se conecta depen-

diendo la necesidad del usuario.



Figura 3. Visualización de datos obtenidos GPS Latitud y Longitud LCD 16x2

Igualmente, se implementó una interfaz de interacción usuario–dispositivo, compuesto de seis botones para el control de las funciones de este en lenguaje braille. Existe un botón para cancelar (CL), para aceptar (OK), para acceder al menú (MN), para ubicación (U) y dos para aumentar y disminuir el volumen de audio como se ve en Figura 4. En el caso del botón de ubicación se utiliza el algoritmo de posicionamiento descrito en el módulo GPS.

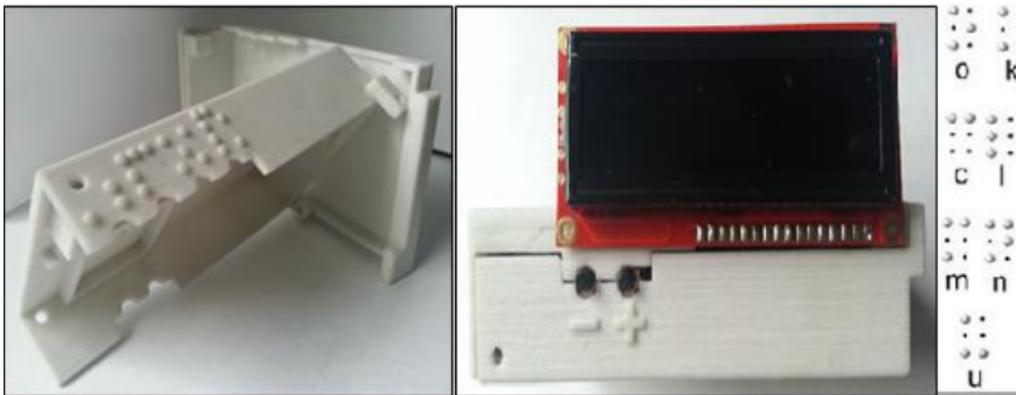


Figura 4. Interfaz usuario–dispositivo

A través de software para simulación de sólidos, se generó la ubicación estratégica de los diferentes componentes dentro de la carcasa protectora con un diseño enfocado a la portabilidad y usabilidad de personas con discapacidad visual. Se resalta que el 100 % de los usuarios asemejó el diseño del dispositivo con un MP3 que pasa desapercibido al momento de usar.

En el botón menú se encuentran dos opciones: programar ruta y estado de la batería; este último le permite al usuario, por medio de un audio, conocer el nivel de batería actual en el dispositivo (alto, medio o bajo). Al elegir la opción programar ruta, el dispositivo le pide al usuario elegir su estación de origen. Para este primer prototipo se decidió tomar la troncal de las Américas como escenario de experimentación; de esta manera, el dispositivo reproduce una a una las posibles estaciones dentro de la troncal y el usuario, al escuchar la estación en la que se encuentra, puede seleccionarla pulsando el botón OK., si el usuario no presiona el botón, las estaciones se repetirán nuevamente hasta que el usuario elija alguna. Una vez seleccionada una estación de origen el proceso se repite para seleccionar la estación destino dentro de la troncal Américas; al seleccionar la estación origen y destino, el dispositivo le informa al usuario la ruta que debe tomar para completar su trayecto (Figura 5).

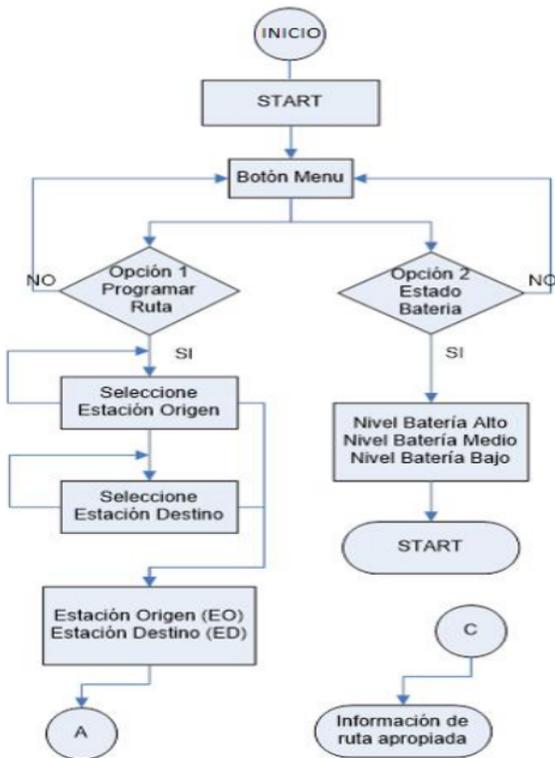


Figura 5. Diagrama de Flujo para el botón menú

El algoritmo de selección de ruta (Figura 6) considera las siguientes rutas asignadas a la troncal Américas: B1/F1, C19/F19 y J23/F23; ya que son las utilizadas para completar el recorrido seleccionado. Inicialmente, se verifica si la fecha es un día domingo o un día festivo, de ser así, se valida que la hora en la que se realizó la consulta este dentro del horario de funcionamiento de Transmilenio para días domingos y festivos (6:00-22:00 h). De cumplirse estas dos premisas, la únicas rutas posibles serían B1/F1, dependiendo hacia donde se dirige (el sentido se revisa más adelante para elegir ya sea entre B1 o F1).

De no ser un día domingo o festivo, el siguiente paso, es comprobar si se encuentra en un horario menor a las 5:00 Hrs o superior a las 22:00 h. Si el horario es menor o superior a los rangos establecidos, se le informa inmediatamente al usuario que se encuentra en un horario de no funcionamiento del sistema Transmilenio.

Si la premisa anterior de horario no es cierta, se verifica si la fecha es un día sábado. En el día sábado se revisa el horario entre las 6:00 y las 22:00 h, de encontrarse en ese horario el usuario, las posibles rutas son C19/F19, de no ser así las rutas posibles son B1/F1.

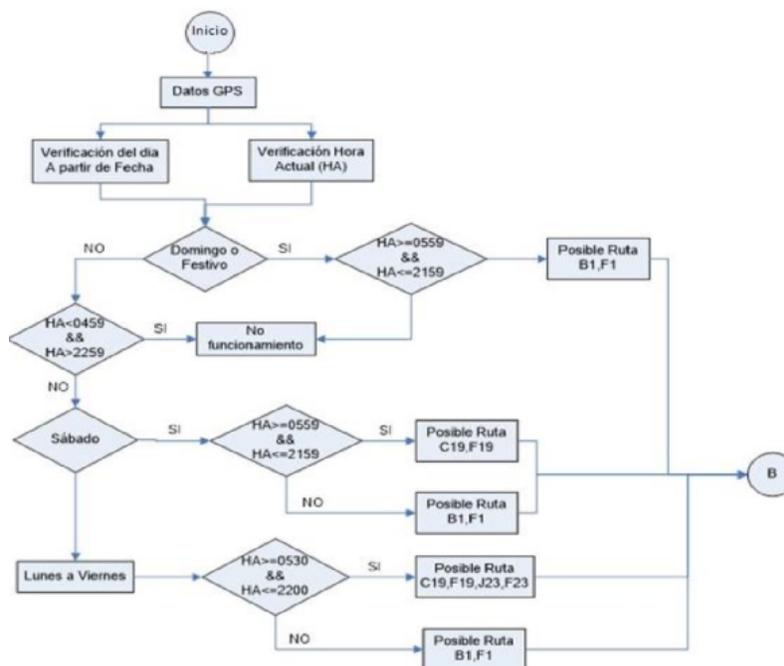


Figura 6. Diagrama de flujo para la selección de posible ruta

En caso de que el día no sea domingo, festivo o sábado, se sobreentiende que se encuentra en un día entre lunes y viernes, donde se encuentran todas las rutas y el horario de la mayoría de ellas no varía como en los otros días. Luego se revisa que el horario se encuentre entre las 05:30 y las 22:00 h, en lo que respecta a las rutas posibles C19/F19 y J23/F23, de no encontrarse en esta franja de horario, las rutas posibles serían B1/F1.

Al obtener en cualquiera de las opciones las rutas posibles, se procede a determinar el sentido correspondiente al trayecto a realizarse. Las estaciones fueron numeradas del 1 al 11 siendo Banderas la número 1 y Ricaurte la número 11 (las demás seguirán la secuencia de números de 1 en 1 dependiendo su orden), a partir de esta numeración y de cuál sea la estación origen y destino que eligió el usuario, se definirá el sentido hacia donde se debe dirigir. Si la esta-

ción origen (EO) es menor a la estación destino (ED), el sentido es de occidente a oriente, de lo contrario es de oriente a occidente.

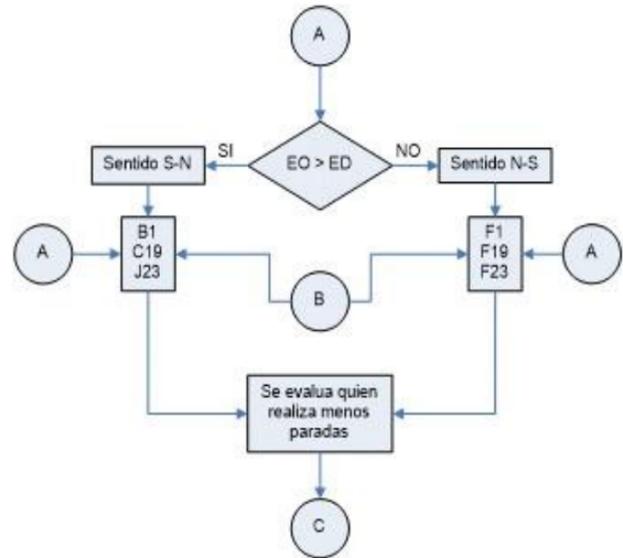


Figura 7. Diagrama de flujo para la selección de la ruta a partir de rutas posibles y del sentido norte-sur o sur-norte

Una vez definido el sentido, a partir de las estaciones destino y origen elegidas por el usuario y de las rutas posibles obtenidas, se evalúa cuál de ellas realiza menos paradas para llevar al usuario desde su estación origen hasta su estación destino; una vez encontrada la ruta más rápida, se le informa al usuario por medio de un audio (Figura 7).

4. Resultados y discusión

Para las pruebas del dispositivo se contó con la colaboración de diez voluntarios en condición de discapacidad visual, cuyas características demográficas se pueden observar en Figura 8.

4.1. Actividades previas

Como actividad previa se le explica a la persona acerca del proyecto y el objetivo de la prueba; seguidamente, se le capacita en el uso del dispositivo y se le pregunta su opinión acerca de su diseño.

4.2. Prueba piloto

La prueba piloto se inicia en el barrio Nueva Marsella, en una casa cercana a la estación Marsella, con el fin de que la persona pueda encender el dispositivo y que el GPS tenga el tiempo para engancharse con los satélites necesarios para dar información; en todo el recorrido la persona se encuentra acompañada por las personas a cargo del proyecto. Al encender el dispositivo la persona

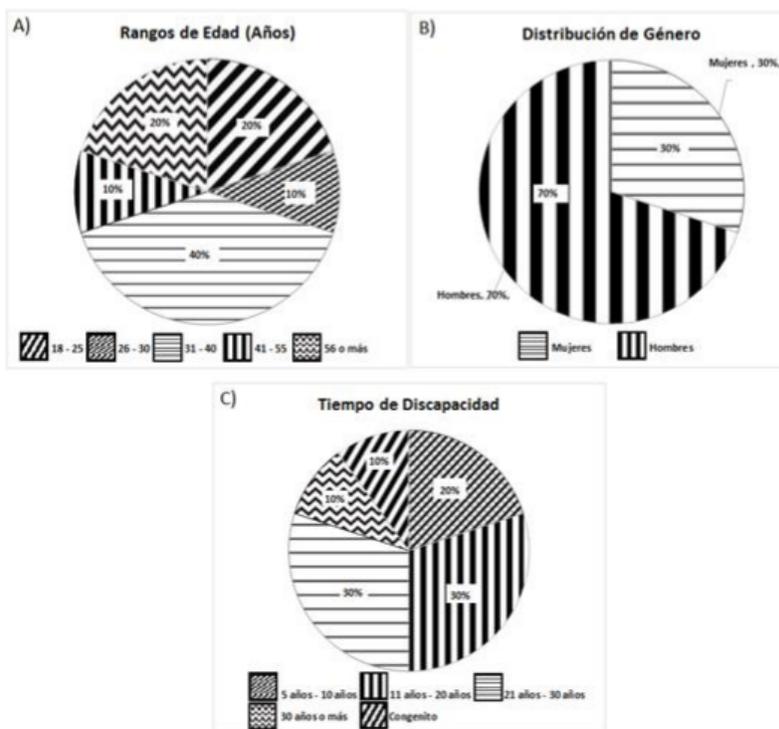


Figura 8. A) Rangos de edad de los usuarios. B) Distribución de Género. C) Tiempo de la Condición de Discapacidad

recibe un mensaje de saludo que le indica que ya se encendió correctamente el dispositivo. Se acompaña a la persona al puente peatonal de la estación Marsella y en ese transcurso, debido a que el dispositivo no se encuentra en el área de cobertura y no brinda información acerca de la ubicación de la persona, por lo que el dispositivo transmite un mensaje que dice “fuera del área de cobertura”. Al llegar a la entrada de la estación, el dispositivo le informa a la persona en qué estación se encuentra; allí se le pide al usuario que programe una ruta e informe lo que el dispositivo le está comunicando.

El usuario programa un recorrido desde la estación Marsella hasta la estación Ricaurte y comunica las indicaciones que escucha, una vez el dispositivo informa la ruta que debe usar, se asiste a la persona al lugar donde esta se toma. Dentro del bus articulado el candidato permanece atento a la información que le brinda el dispositivo en el transcurso del trayecto, como las estaciones inter-



Figura 9. Inicio prueba piloto estación Marsella y ruta C19

medias. El dispositivo informa sobre cada estación por donde transita el articulado y una estación anterior a la de destino le da indicación de prepararse para bajar del bus; al arribar a su destino se le informa que ha llegado al final de su trayecto, la ruta actual se elimina el dispositivo queda disponible para una nueva selección de recorrido.

4.3. Prueba extendida

Para la prueba extendida se aplicó el mismo protocolo tenido en cuenta para la prueba piloto a nueve usuarios más, para así recopilar los datos de opinión de un total de diez usuarios evaluando los aspectos de funcionamiento y diseño del dispositivo, y los rangos de tiempo que tardaron para llegar a su destino (Figura 10), dentro de las pruebas a dos usuarios se les aplicó el protocolo en un día festivo; cabe resaltar que la totalidad de los participantes de la prueba lograron llegar a su destino dentro de los cuales el 70 % demoró un tiempo cercano al promedio indicado por aplicaciones móviles para planeación de viajes como "Transmilenio y SITP", el cual, para el trayecto elegido, se estima en dieciocho minutos aproximadamente, tanto para días festivos como para días laborables [10].

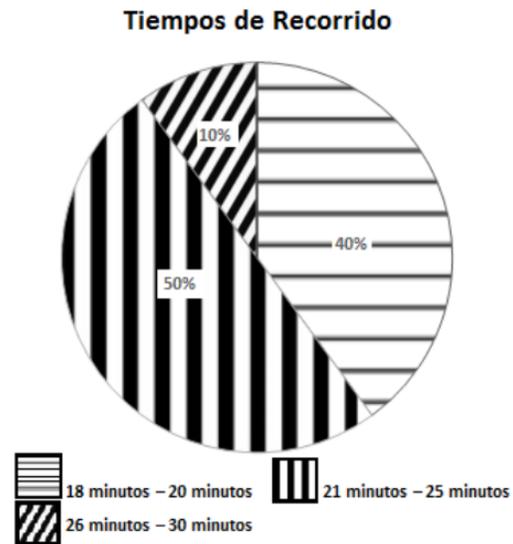


Figura 10. Registro de tiempos de recorrido de los participantes hasta llegar a su destino

Dentro del protocolo de pruebas se realizó un viaje de referencia donde el usuario inicial realiza el mismo recorrido pero no utiliza el dispositivo de apoyo. Se registra que el tiempo que tarda esta persona es de aproximadamente veintiocho minutos y corresponde a un aumento en el tiempo de viaje de aproximadamente ocho minutos más en comparación al 40 % de los usuarios que tardaron de dieciocho a veinte minutos, y un aumento de tres minutos respecto al 50 % de los que lo hicieron en el rango de veintiuno a veintiseis minutos. Este resultado evidencia una mejora respecto al tiempo que tarda una persona en condición de discapacidad cuando utiliza el dispositivo, además que la pone a la par respecto al promedio que demora alguien sin ningún tipo de impedimento visual.

En cada fase se implementaron preguntas que involucraban una evaluación del funcionamiento de esta nueva herramienta, algunas de las cuales se pueden ver recopiladas en la Figura 11. Respecto a la seguridad que proporcionaba el dispositivo en el recorrido por la ciudad, el 60 % de los participantes menciona que se sienten seguros al tenerlo; sin embargo, para mejorar esa percepción se deja abierta la posibilidad de adaptar al dispositivo un módulo de tecnología GSM-GPRS, que posibilite el contacto por mensaje de texto con un familiar del usuario en caso de emergencia, aportando además la ubicación del usuario con solo presionar un botón configurado para esto.

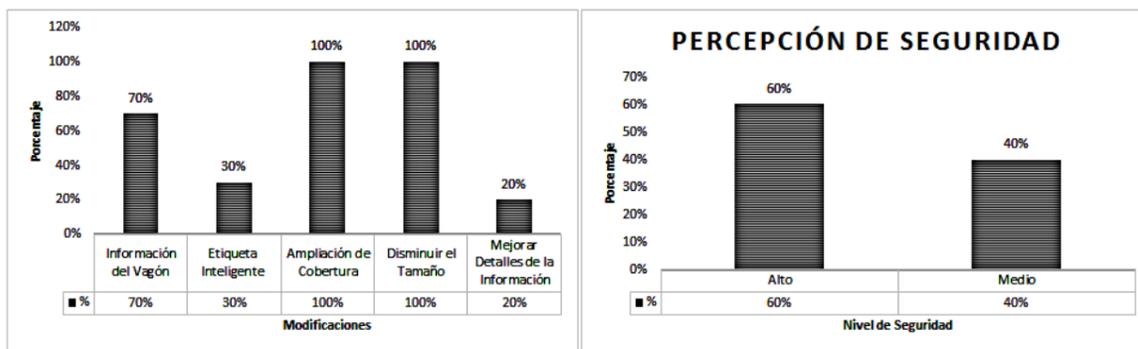


Figura 11. Percepción de los usuarios participantes respecto al dispositivo

Igualmente, para conocer sobre las adaptaciones más convenientes que se le deberían hacer al dispositivo para mejorarlo, el 70 % responde que se debería incluir la información del vagón de la estación en el cual el usuario puede tomar la ruta recomendada. Respecto al diseño la totalidad de los participantes concuerda con la necesidad de disminuir el tamaño del dispositivo para mejorar así mismo su característica portable, por lo que para futuros diseños se debería hacer uso de una única placa utilizando componentes de montaje superficial (SMD) para reducir el tamaño. Sin embargo, los usuarios resaltan la similitud física del dispositivo al de un MP3 por lo que pasa desapercibido entre los demás pasajeros del sistema.

El 30 % restante selecciona como mejora la inclusión de una etiqueta inteligente que se comunique con el dispositivo para brindar información de arribo y ruta de los buses articulados a las estaciones, esto teniendo en cuenta que en una misma puerta pueden llegar diferentes rutas a la seleccionada. Por último, el 100 % de los usuarios se mostraron satisfechos con el funcionamiento y expresaron la necesidad de ampliar las zonas de coberturas.

Debido al lugar de trabajo de algunos usuarios, en algunos casos fuera de Bogotá, el 70 % de los usuarios mencionan la posibilidad de que se les indiquen puntos clave del trayecto y arribo a algunos municipios dentro del trayecto; por lo que se deja abierta la posibilidad de implementaciones personalizadas que cubran la ruta entre Bogotá y los municipios aledaños y posibles rutas alternas para que, en caso de desvío, brinden al usuario información que le permita tomar decisiones acertadas y genere tranquilidad y autonomía al momento de viajar.

Atendiendo a la necesidad de movilización expresada por los usuarios, se deja abierta la posibilidad de ampliar las rutas programadas gracias a la tabla de asignación de archivos (FAT32) que se implementó en el dispositivo, la cual permite ampliar de manera considerable la capacidad de almacenamiento por medio de memorias microSD que actualmente van hasta 64 GB; además, este aumento en la capacidad permite un mayor detalle en los audios informativos, con el fin de darle más autonomía al usuario en su recorrido en el sistema de Transmilenio.

5. Conclusiones

La prueba piloto del dispositivo mostró resultados favorables para la orientación de usuarios con discapacidad visual en recorridos de rutas de Transmilenio, posibilitando un aumentando en su

autonomía, seguridad y tranquilidad al momento de desplazarse al lugar deseado, repercutiendo directamente en una mejora significativa en la calidad de vida gracias a la percepción de independencia y libertad de las personas en condición de discapacidad visual.

Con el uso de un microcontrolador de bajo costo, se logró implementar el sistema de archivos FAT 32, posibilitando la inclusión de una memoria microSD que aumenta de manera considerable la capacidad de almacenamiento de audios, con los cuales se le informa al usuario de manera detallada los pasos a seguir en cada una de las funciones de dispositivo y del recorrido necesario para que este llegue a su destino. Se deja abierta la posibilidad para que se implementen otras tecnologías como la GSM–GPRS y la disminución del tamaño del dispositivo aplicando placas con montajes superficiales. Así mismo, la posibilidad de extender las áreas de viajes para que no se limite a herramienta de ayuda para su ubicación en lugares o trayectos antes conocidos, sino a nuevos recorridos donde el dispositivo le genere la información necesaria para su orientación.

Este tipo de dispositivo representa un bajo costo para quien lo adquiera debido a los componentes electrónicos utilizados en su implementación; representa una ventaja en relación a la seguridad para su portador debido al diseño discreto que posee que lo hace menos vulnerable a robos, en comparación a los dispositivos celulares a los que se le instale una aplicación móvil que efectúe ayudas similares a esta. De esta manera, el dispositivo puede ser incorporado como una herramienta dentro de la política de inclusión de la población en condición de discapacidad visual, al ser adquirido por el Estado para su distribución entre esta población.

De igual forma, es importante resaltar la importancia de la generación de proyectos de investigación, desarrollo e innovación enfocados a mejorar la calidad de vida de las personas en condición de discapacidad visual, así mismo promover la implementación de los ya desarrollados desde de la facultad de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Dentro de los referentes más cercanos se tienen al proyecto denominado “Ratón USB para personas tetrapléjicas controlado con el movimiento de la cabeza” cuyo hardware está destinado no solo a personas que sufren de tetraplejia, sino a quienes tengan algún tipo de discapacidad en alguno de sus cuatro miembros [11], y al proyecto “Diseño de un dispositivo para la movilidad de personas con discapacidad motriz usando el método función de calidad” enfocado al diseño de un dispositivo de movilidad aplicado a personas con discapacidad motriz entre ocho a quince años, con patologías T12 [12].

6. Agradecimientos

Este trabajo fue llevado a cabo gracias a la colaboración de los voluntarios quienes accedieron a realizar las pruebas, en cabeza del señor Luis Alfredo Segura que facilitó el acercamiento y así mismo la generación de los protocolos de pruebas; a los organizadores del Workshop on Engineering Applications 2016 —IEEE— UD por la gestión académica; y, por último, a los revisores y editores de la revista científica Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas quienes aportaron con sus correcciones y sugerencias a la mejora del trabajo y posibilitaron esta publicación.

Referencias

- [1] Camara de Comercio de Bogotá and Universidad de los Andes, *Observatorio de Movilidad: Reporte Anual de Movilidad 2014*. 2015. ↑284
- [2] Secretaría Distrital de Movilidad Transmilenio S.A., *Informe de seguimiento plan de acción institucional*. Bogotá D.C., 2016. ↑285
- [3] R. Velázquez, “Wearable assistive devices for the blind. In Wearable and autonomous biomedical devices and systems for smart environment”. *Springer Berlin Heidelberg*, pp. 331–349, Nov. 2010. ↑285
- [4] S. Gholap, G. Ekshinge, P. Naik and P. S. D. Chavan, “Navigation of Blind People Using Passenger Bus Alert System”. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 5, no. 12, pp. 189–194, 2015. ↑285
- [5] M. Markiewicz and M. Skomorowski, “Public Transport Information System for Visually Impaired and Blind People”. *Springer Berlin Heidelberg*, 2010, pp. 271–277. ↑286
- [6] S. Park, I.-M. Choi, S.-S. Kim, and S.-M. Kim, “A portable mid-range localization system using infrared LEDs for visually impaired people”. *Infrared Phys. Technol.*, vol. 67, pp. 583–589, Nov. 2014. ↑286
- [7] J. Sánchez and N. de la Torre, “Autonomous navigation through the city for the blind”. *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS '10*, 2010, p. 195. ↑286
- [8] M. Nassih, I. Cherradi, Y. Maghous, B. Ouriaghli, and Y. Salih-Alj, “Obstacles Recognition System for the Blind People Using RFID”. *2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, 2012, pp. 60–63. ↑287
- [9] J. H. Barbosa Díaz, *Sistema inalámbrico de seguimiento de puertas para estaciones en el Sistema Transmilenio*. 2016. ↑287
- [10] LeoSites, Transmilenio y Sitp - Aplicaciones Android en Google Play. [En línea]. Recuperado de: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rutasdeautobuses.transmileniositp&hl=es_419 ↑288, 293
- [11] A. D. Riaño Gómez, S. M. Omar, and S. M. José Jairo, “Ratón USB para personas tetrapléjicas controlado con el movimiento de la cabeza”. *Ingeniería*, vol. 19, no. 2, pp. 41–62, 2014. ↑295
- [12] L. C. Bravo, “Diseño de un dispositivo para la movilidad de personas con discapacidad motriz usando el método función de calidad”. *Ingeniería*, vol. 19, no. 1, Jun. 2014. ↑295

Julián Rolando Camargo López

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; especialista en Diseño y Construcción de Soluciones Telemáticas, Universidad Autónoma de Colombia; se desempeñó como Coordinador de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería y posteriormente como Docente de Planta en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Actualmente se desempeña como profesor en el área de Sistemas Digitales y como Coordinador de la Especialización en Informática y Automática Industrial en la Universidad Distrital Francisco José de Calda de Bogotá, Colombia, investigador al grupo de investigación GITUD donde realiza estudios sobre el campo de las telecomunicaciones. Correo electrónico: jrcomargol@udistrital.edu.co

Luis Andrés González Castro

Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; obtuvo su Red Hat Certified System Administrator V7 – RHCSA por la Red Hat. Bogotá, Colombia; actualmente es arquitecto de soluciones Red Hat en Bmind y apoya las soluciones TI basadas en Red Hat. Correo electrónico: luagonzalec@correo.udistrital.edu.co

Diego Alejandro Segura Garzón

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; candidato a Magíster en Arquitectura en Tecnologías de la Información de la Universidad de los Andes; actualmente se desempeña como Especialista de soporte de Software On Site para servidores power IBM i, AIX, Vios server Bogotá, Colombia. Correo electrónico: dasegurag@correo.udistrital.edu.co

Fabián Steven Garay Rairan

Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; con estudios en el nivel de Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; actualmente se desempeña como Asesor de formulación y estructuración de Proyectos de Investigación en la Unidad de Investigación de la Escuela Militar de Suboficiales Sargento Inocencio Chincá y como segundo líder del Grupo de Investigación INTEMIL, Nilo, Cundinamarca.

Correo electrónico: fsgarayr@correo.udistrital.edu.co

Nubia Rincón Mosquera

Licenciada en Electrónica, Universidad Pedagógica Nacional; especialista en Bioingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magíster en Ingeniería Electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana; actualmente se desempeña como profesora en el área de Sistemas Digitales en la Universidad Distrital Francisco José de Calda de Bogotá, Colombia; investigadora del Grupo internacional de investigación en informática comunicaciones y gestión del conocimiento – GICOGE, donde realiza estudios sobre el campo de la Bioingeniería.

Correo electrónico: nubiaioing@yahoo.es