

Displacement Aid System for People with Visual Impairment Using Magnetic Coils

B. Villeda, J. Arroyo, and R. Nuñez

Abstract—This article shows the development of a support system for the movement of people with visual impairments using a near field communication system, based on magnetic coils.

The structure of the system consists of an embedded system attached to a smart cane, which allows the detection of a set of transmitting coils placed at the intersections of the tactile paving that people with visual impairments use to move in public places. When the smart cane detects an intersection it informs the user about the places that can be reached by following each one of the possible directions, using voice commands.

This article properly describes the overall function of the system, as well as the design and implementation of the transmitting and receiving coils, including the mathematical model of the magnetic coils, which is used to calculate the communication range. Finally some experimental results are presented.

Index Terms—Near field communication, Magnetic coils, Embedded systems, Aid systems.

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estima que aproximadamente 1300 millones de personas viven con alguna forma de deficiencia visual, 188 millones de personas tienen una deficiencia visual moderada, 217 millones tienen una deficiencia visual de moderada a grave y 36 millones son ciegos a nivel mundial [1].

La mayoría de las personas invidentes utilizan un bastón blanco para desplazarse. El bastón funciona como un detector de objetos. En la actualidad hay muchos ejemplos de bastones inteligentes que ofrecen grandes ventajas para apoyar el movimiento del usuario, por medio de la integración de sensores para medir diferentes variables del entorno:

El trabajo de M. Nassih [2] se basa en un Sistema de reconocimiento de obstáculos para las personas ciegas utilizando la tecnología por radiofrecuencia RFID “Radio Frequency Identification”, el cual se ocupa de la lectura de mensajes en Braille a través de interruptores electromecánicos en el mango. Otros autores [3] proponen un bastón con sensores infrarrojos estos trabajan mediante la transmisión y recepción de pulso de luz IR, el mensaje apropiado se reproduce a través de auriculares. Otros prototipos incorporan un sensor de agua para evitar los charcos [4]. En otros trabajos [5] se ha implementado un giroscopio para evitar que al mover el bastón se afecten las mediciones. Por otro lado Indriya

[6], es uno de los pocos sistemas que tiene la detección de obstáculos a nivel de la cabeza, del torso y del suelo.

La mayoría de bastones inteligentes utilizan sensores ultrasónicos por su confiabilidad y costo, un ejemplo de un dispositivo comercial que usa este tipo de sensores es “UltraCane”, que se enfoca a la detección de obstáculos a la altura del pecho y cabeza, con dos botones de vibración, la frecuencia de la vibración permite saber la proximidad del obstáculo ofreciendo una protección de riesgos de un 100% y un rango de detección ajustable de 2 a 4 m, su autonomía es de 100 Horas, la desventaja principal es el costo, que es de \$ 699 dolares, además el bastón no es plegable [7].

Con el avance de la tecnología varios autores optan por incorporar el sistema de localización por GPS [8], un módulo Wi-Fi que transmite la ubicación actual a la nube, donde el historial de navegación del usuario puede ser rastreado [9], así como una aplicación Android, esta se comunica con el bastón blanco para ayudar a localizar al usuario [10]. Otros autores incorporan un botón de emergencia que el usuario puede pulsar para enviar su ubicación a través de SMS a todos los números almacenados en el microcontrolador [11]. Un dispositivo comercial de esta categoría es el “WeWALK”, que utiliza la conexión mediante bluetooth al celular de usuario para usar Google Maps con la asistencia de voz incorporada, su autonomía es de 20 Hrs con un costo de \$ 499 [12]. Otro sistema de navegación inteligente es el de CCNY Cané, el sistema incluye software para dispositivos Google Tango que utiliza la localización simultánea y mapeo (SLAM) para planificar una ruta y guiar a un usuario [13].

También extensiones de guía inteligente que puede ser integrada con un bastón ordinario. La guía inteligente puede dar información sobre un obstáculo o agujero y la orientación del usuario [14]. Comercialmente existe “SmartCane”, este cuenta con un sensor ajustable para la detección de obstáculos a diferentes alturas así como 4 patrones vibratorios con una autonomía de 10 Hrs, su desventaja principal es el peso, que es de 1000g. Su costo es de \$ 51 [15].

Como se puede observar, el desarrollo de bastones inteligentes aborda dos problemas principales: la detección de obstáculos, mediante sensores de presencia como infrarrojos o radiofrecuencia, y la localización del usuario, usando principalmente GPS y visión artificial.

Este proyecto se enfoca a la localización, en esta categoría, los sistemas comerciales basados en GPS permiten obtener una medición absoluta de la posición, sin embargo aún no funcionan correctamente en ambientes interiores, aunque hay alternativas usando posicionamiento mediante la red WiFi. Otra desventaja es la exactitud de las mediciones, ya que el

Benito Villeda Félix es estudiante de maestría de la Universidad Politécnica de Tulancingo con número de becario Conacyt 636291. *Departamento de Automatización y Control Universidad Politécnica de Tulancingo, Hidalgo, México.* Email: 1731033@upt.edu.mx, humberto.arroyo@upt.edu.mx, rafael.nunez@upt.edu.mx.

error de estos dispositivos está en un rango de metros.

Por otro lado, los sistemas de localización basados en visión artificial son bastante precisos, sin embargo, para medir la escala de apropiadamente se necesita usar un arreglo estereoscópico de cámaras o sensores inerciales, en ambos casos se requiere de gran capacidad de procesamiento para proporcionar mediciones en tiempo real.

Considerando las desventajas de la tecnología actualmente usada en bastones inteligentes, se propone hacer uso de espiras magnéticas para implementar un sistema de comunicación de corto alcance, lo que permitirá ubicar al usuario de manera precisa. Considerando que la carga de procesamiento es tan baja, se propone implementar el sistema usando microcontroladores como parte de un sistema embebido.

En cuanto al uso de espiras magnéticas, desde su introducción a principios en la década de 1960, este sistema se ha convertido en el sensor más utilizado para la detección de vehículos, por este motivo es fácil encontrarlas en gran número de ciudades. Los componentes principales de un sistema detector de espira magnética incluyen: una o más vueltas de alambre aislado enrollado e incrustado en una ranura a poco profunda y un gabinete de control compuesto por amplificadores y osciladores [16].

Los resultados obtenidos son muy confiables, por lo tanto, se sigue considerando como el sistema detector de referencia. Teniendo en cuenta el éxito de este dispositivo y su despliegue generalizado en todas las carreteras del mundo, varios autores han propuesto distintas aplicaciones:

Clasificación de vehículos mediante su huella magnética [17], el cual permite identificar el tipo de vehículo y establecer una comunicación bidireccional entre vehículos e infraestructuras [18], medición de velocidad de vehículos [19], detección de motocicletas y bicicletas [20] mediante sistemas que usan bucles múltiples para mejorar la detección tradicional, conteo de vehículos en un flujo de tráfico mixto mediante múltiples espiras [21] usadas en intersecciones.

El hecho de que el uso de la comunicación mediante espiras magnéticas se haya extendido a tantas aplicaciones se debe a dos ventajas principalmente: el campo magnético se afecta muy poco en función del medio en el que se encuentra, esto permite una comunicación robusta ante condiciones adversas como agua, polvo, etc., la otra ventaja es que el rango de comunicación se puede ajustar fácilmente al modificar los parámetros de las espiras utilizadas: número de vueltas, calibre del alambre y área de la espira.

El proyecto propuesto se puede entender como un sistema de localización discreto, la ubicación del usuario se proporciona únicamente cuando este se coloca directamente sobre una espira emisora, reduciendo las distracciones que el aparato le pueda producir al usuario.

Este sistema se puede implementar en ambientes exteriores e interiores sin que esto reduzca su eficiencia, otra gran ventaja es el bajo requerimiento de procesamiento computacional lo que permite simplificar el número de componentes electrónicos, consumo energético y mantenimiento del sistema.

El documento está estructurado de la siguiente manera: El segundo apartado presenta la descripción general del sistema y la forma de uso. El tercer apartado presenta el estudio del

modelo matemático de las espiras magnéticas, utilizado para calcular el alcance de comunicación del sistema. El cuarto y quinto apartado explican el diseño y construcción del circuito emisor y receptor incluyendo la instrumentación, etapa de amplificación, rectificación y configuración del módulo de audio. El sexto apartado muestra los resultados obtenidos y por último se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

El problema a resolver se plantea como sigue: Diseñar un sistema de asistencia a personas invidentes que les permita recorrer los caminos acondicionados con pavimento táctil o piso podotáctil, de manera eficiente e independiente.

Actualmente el piso podotáctil es un elemento encontrado frecuentemente en espacios públicos como hospitales, centros comerciales, universidades, etc. Sin embargo, las personas invidentes difícilmente pueden recorrer estos espacios por sí mismas, ya que necesitan que alguien les indique que camino tomar cuando se encuentran con una bifurcación en su ruta.

El sistema propuesto consta de un bastón inteligente que es capaz de identificar las intersecciones del pavimento táctil y de informar al usuario, mediante comandos de voz, sobre los lugares a los que se puede llegar siguiendo cada una de las direcciones posibles. Para identificar las intersecciones se colocan espiras magnéticas debajo de las baldosas del piso podotáctil, cada una de estas espiras transmite un identificador diferente que es interpretado por el bastón inteligente.

La Fig. 1 muestra una vista aérea de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Tulancingo (UPT), en esta imagen se pueden identificar los corredores que unen los diferentes edificios, que cuentan con caminos podotáctiles. Los recuadros amarillos muestran la ubicación de las intersecciones donde es necesario colocar las espiras magnéticas emisoras. Dado que las espiras emisoras se encuentran colocadas bajo tierra se evita que sean un obstáculo para los peatones y se protege al sistema emisor evitando desgaste o destrucción de las espiras. En esta aplicación el usuario puede ir de un edificio a otro



Fig. 1. Acondicionamiento de las instalaciones de la UPT.

escuchando que lugares se encuentran en cada dirección al llegar a una bifurcación.

Como segunda aplicación, se plantea instalar el sistema de asistencia en una estación de metro. En este caso el sistema serviría para informar a las personas invidentes sobre que camino tomar para abordar los vagones o como llegar a las diferentes salidas. Aunque la demanda del sistema sería mas alta, se ha demostrado que pueden colocarse varias espiras receptoras sobre una emisora, sin que afecte la comunicación.

El arreglo básico de comunicación usando espiras magnéticas se compone de dos elementos: una espira emisora y una espira receptora. Cuando se hace circular una corriente en la espira emisora se produce un campo magnético, que puede inducir un voltaje sobre la espira receptora cuando se encuentra en su área de influencia.

De esta forma, a través de la inducción magnética se pueden transmitir datos y establecer un medio de comunicación inalámbrico de corto alcance. El campo magnético generado decae rápidamente conforme se aleja del emisor, esto acota la comunicación a un área específica. La tasa en la transferencia de datos sería baja, enviando códigos que serán interpretados por el dispositivo receptor [22].

El bastón inteligente cuenta con la instrumentación necesaria para amplificar y procesar las señales de las espiras emisores y generar los comandos de voz. Las instrucciones auditivas le describen el entorno al usuario, por ejemplo indican a que edificios se puede llegar si se toman los diferentes caminos, también puede indicar el inicio o fin de un camino con escalones o la entrada a algún edificio.

La espira receptora está colocada en el extremo inferior del bastón inteligente, de tal forma que al pasar sobre alguna espira emisora instalada debajo de alguna baldosa, se atraviesa su umbral de detección, induciendo una señal con una cierta frecuencia que es identificada por un microcontrolador, que determina, según la configuración del equipo, si debe generar, o no, un comando de voz.

Los comandos de voz se almacenan en una tarjeta de memoria externa, en esta memoria se podrá regrabar la información cuando el usuario acceda a un nuevo tipo de instalaciones, esto permite que el sistema se adapte a nuevos entornos de manera cómoda.

III. MODELADO DE ESPIRAS MAGNÉTICAS

Todos los conductores de cable que llevan una corriente eléctrica producen un flujo magnético. La relación del flujo magnético y la corriente que circula es una propiedad eléctrica llamada inductancia, se mide en Henrios H .

La inductancia del alambre se llama auto inductancia, si el flujo de corriente a través de un cable se acopla a otros cables, la inductancia resultante se llama inductancia mutua [16].

La Fig. 2 muestra el flujo alrededor de una espira cuadrada de alambre de n vueltas. Note que el plano que contiene el flujo magnético es normal a la corriente del conductor y el flujo magnético tiene una dirección determinada por la “regla de la mano derecha”.

El flujo magnético es uniforme dentro de la bobina excepto en los extremos. El campo magnético \vec{B} , de acuerdo con las

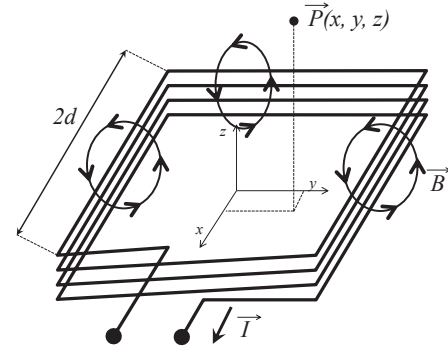


Fig. 2. Campo magnético alrededor de una espira cuadrada.

leyes de Maxwell cumple con la propiedad $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$, que puede reescribirse en función del campo de potencial vectorial magnético \vec{A} de acuerdo a (1).

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad (1)$$

El campo \vec{A} está relacionado con las fuentes de densidad de corriente estable, que generan el campo \vec{B} . En el caso de la corriente de línea en la espira, \vec{A} se define usando (2)

$$\vec{A} = \frac{\mu_0 \vec{I}}{4\pi} \int_l \frac{dl}{r} \quad (2)$$

Donde: \vec{I} es el valor RMS de la corriente que pasa por el conductor lineal. r es la distancia desde el conductor al punto de análisis P de acuerdo a la Fig. 2.

El cálculo del campo \vec{A} se debe de hacer usando (2) que implica la integral sobre la geometría definida por la espira emisora, es decir, se tienen que considerar cada uno de los 4 segmentos de conductor lineal de cada una de las n espiras consideradas en el diagrama de la Fig. 2.

Como ejemplo se muestra el cálculo del campo \vec{A}_1 que representa el primer segmento de longitud $2d$ de la espira sobre el plano XY que va de las coordenadas $(-d, -d, 0)$ al punto $(-d, d, 0)$:

$$\vec{A}_1 = \frac{\mu_0 \vec{I}}{4\pi} \int_{-d}^d \frac{dx'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y+d)^2 + z^2}} \quad (3)$$

El cálculo mostrado en (3) se tiene que realizar considerando las coordenadas de cada segmento incluyendo las componentes sobre el eje z para las espiras superiores que está en función del calibre usado.

De esta manera [23] el campo \vec{A} se calcula como la suma de los campos de todos los segmentos \vec{A}_k , con esto se puede evaluar el campo magnético \vec{B} usando (1).

En la Fig. 3 se muestran los resultados en simulación del campo magnético que genera una espira usando parámetros $d = 0.15m$, $I = 72mA$, $n = 17$ a una altura de $z = 0.15m$.

Finalmente el voltaje inducido o fuerza electromotriz FEM se puede evaluar mediante la derivada con respecto al tiempo de la integral del campo magnético \vec{B} a lo largo de la geometría definida por la espira receptora, de acuerdo a (4).

$$FEM = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B}(I(\omega t)) ds \quad (4)$$

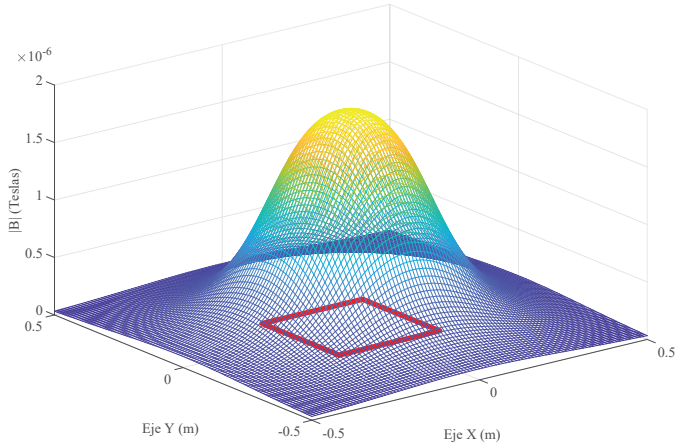


Fig. 3. Campo Magnético de una espira cuadrada.

En este cálculo se consideran todos los segmentos lineales de cada vuelta de la espira receptora, además se considera la corriente en función de la frecuencia ω usada y no solo el valor RMS como en (2).

Cuando no se hace ninguna otra consideración, es bastante complicado resolver las integrales de manera explicita para obtener el voltaje inducido, por esta razón se decidió resolver el problema mediante análisis numérico.

En la Fig. 4 se muestran los resultados de simulación, en Matlab, considerando una espira receptora de tamaño $d = 0.035m$, y numero de vueltas $n = 50$ a una frecuencia de transmisión de $67KHz$.

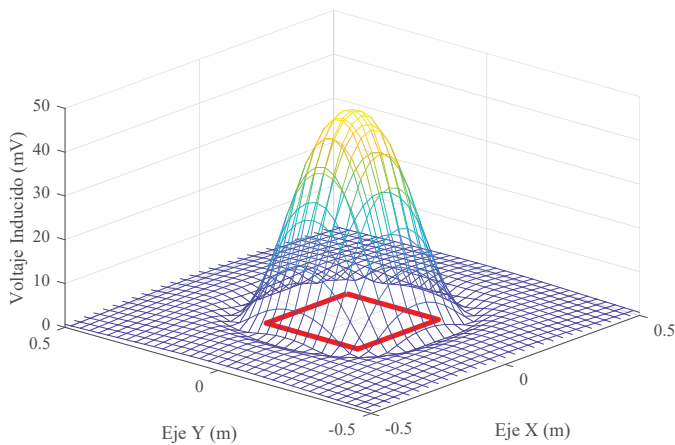


Fig. 4. Voltaje inducido de una espira cuadrada.

IV. DISEÑO DEL SISTEMA EMBEBIDO EMISOR

El módulo de control de la espira emisora está compuesto por los siguientes elementos, ver Fig. 5:

Fuente de alimentación: Se utiliza una batería tipo LiPo de $7.4 V$ a $2200 mAh$, además de un circuito regulador de voltaje formado por un circuito integrado $LM7805$ y dos capacitores de $10 \mu F$.

Generador de onda cuadrada: Se utiliza un microcontrolador *Attiny24*, seleccionado por su bajo consumo de energía y velocidad de procesamiento, donde se programó

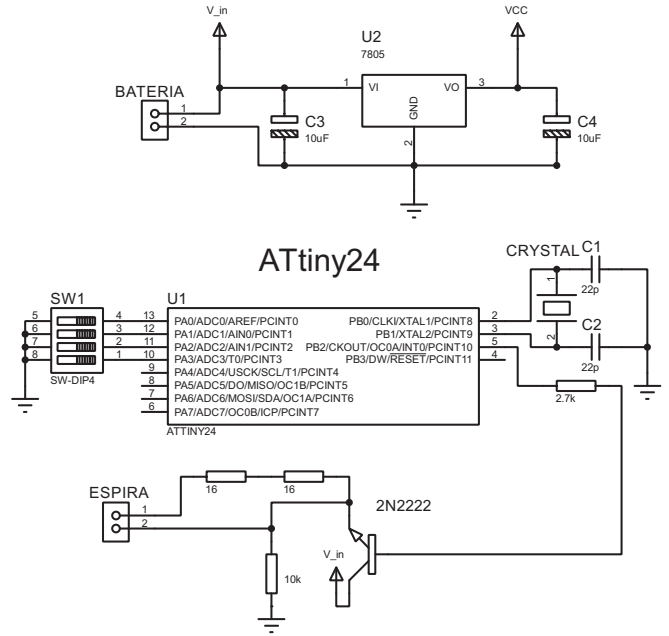


Fig. 5. Circuito emisor.

un algoritmo en lenguaje ensamblador para generar una señal cuadrada a diferentes frecuencias.

Etapas de amplificación: El microcontrolador genera una señal de salida de $5V$, que no es suficiente para establecer la comunicación, por ello se implementó una etapa de potencia usando un transistor $2n2222$, en modo interruptor y las resistencias mostradas para limitar la corriente.

Selector de frecuencias: Un *dip switch* permite seleccionar la frecuencia de la señal de salida de acuerdo a la información mostrada en la tabla I.

TABLA I
CONFIGURACIÓN DE ESPIRAS EMISORAS

Espira	Combinación	Frecuencia
1	0010	59K
2	0100	67K
3	0110	75K
4	0001	81K
5	0011	90K
6	0101	96K

Reloj externo: El método usado para generar las funciones cuadradas dentro del microcontrolador, es por desbordamiento del *timer*, para aumentar el rango de frecuencias que se pueden generar se utiliza un oscilador externo formado por un cristal de $20 Mhz$ y capacitores de $22 \mu F$.

El valor inicial T_0 con que se programa en el *timer* del microcontrolador para producir una señal con una frecuencia deseada F_d se calcula usando (5):

$$T_0 = \frac{F_m}{2F_d} - 255 \tag{5}$$

Donde:

F_m es la frecuencia del microcontrolador: $20 Mhz$

F_d es la frecuencia deseada de salida.

En la Fig. 6 se muestra el sistema completo y la forma de instalación:

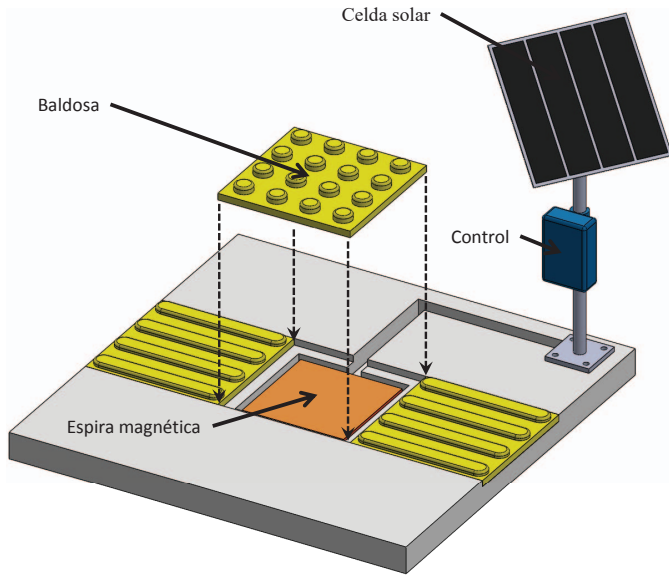


Fig. 6. Sistema Emisor.

V. DISEÑO DEL SISTEMA EMBEBIDO RECEPTOR

El sistema receptor, mostrado en la Fig. 7, está compuesto de los siguientes elementos:

Fuente de alimentación: Se utiliza una batería tipo LiPo de 7.4 V a 2200 mAh, conectada a un circuito regulador de voltaje formado por un circuito integrado LM7805, y dos capacitores de 10 uF.

Etapa de amplificación: Utilizando un amplificador del tipo rail to rail en modo inversor, modelo MCP6022, es posible amplificar la señal inducida en la espira receptora, que tiene un valor promedio de 417mV hasta un voltaje de 4.7V, el cual puede ser interpretado por el módulo de detección. Con la configuración usada, es posible detectar las espiras emisoras a una distancia de hasta 30 cm.

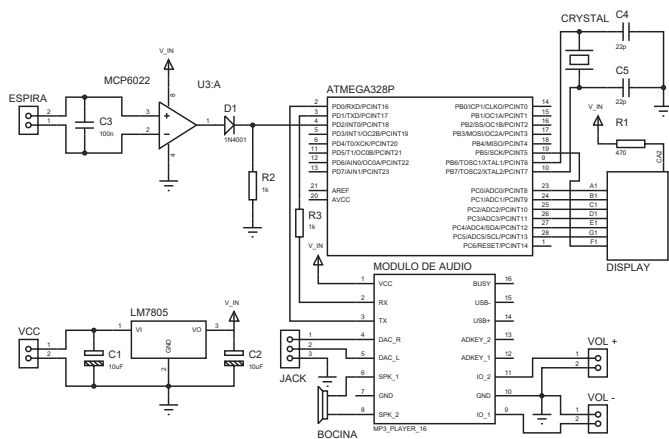


Fig. 7. Circuito Receptor.

Etapa de filtrado y rectificación: Se colocó en paralelo a la entrada del amplificador un capacitor cerámico de 100 nF y un diodo rectificador in4006 para eliminar la parte negativa de la señal inducida al circuito para que posteriormente sea ingresada al microcontrolador.

Módulo de detección: Para esta etapa se seleccionó un microcontrolador Atmega328P por contar con puerto serial y suficientes pines de salida para controlar un display de 7 segmentos que sirve para verificar la detección.

La medición de la frecuencia de la señal recibida (6) se obtiene al calcular el periodo por medio del conteo de flancos de subida c durante un intervalo de tiempo t determinado, los flancos de subida se detectan utilizando la interrupción externa del microcontrolador.

$$f = \frac{c}{t} \quad (6)$$

El índice de la espira se recupera utilizando de nuevo los valores mostrados en la tabla I, este también se muestra en el display de 7 segmentos.

La función de detección se ejecuta de manera continua a un cierto intervalo de tiempo, cuando se detecta una nueva espira se manda una señal al módulo de voz para reproducir la pista con el comando apropiado.

Módulo de voz: Para la reproducción de los comandos de voz se utilizó un módulo de MP3 con memoria SD, modelo FN-M16P, que funciona mediante comunicación serial, su salida se conectó a un altavoz, botones para el volumen así como un conector para auriculares.

En la Fig. 8 se muestra el diseño completo del bastón, consta de 3 partes fundamentales, el mango, el cuerpo del bastón y la punta. Su longitud total es de 110cm de largo por 5cm de ancho, la ubicación del altavoz fue en la parte trasera del mango para que la inclinación del bastón favoreciera la dirección del audio hacia el usuario.

Para el cuerpo del bastón se utilizó un tubo de aluminio por sus propiedades de dureza y peso. Para una mejor estética del bastón la espira receptora fue diseñada colocando el alambre en forma de cilindro, teniendo un diámetro de 4cm y una altura similar, se colocó en la punta del bastón para estar lo más cerca posible del suelo, los alambres de la espira atraviesan el tubo de aluminio que une el mango con la punta hasta llegar al amplificador.

Para un menor peso, el mango, la base del altavoz y la punta del bastón fueron construidas mediante una impresora

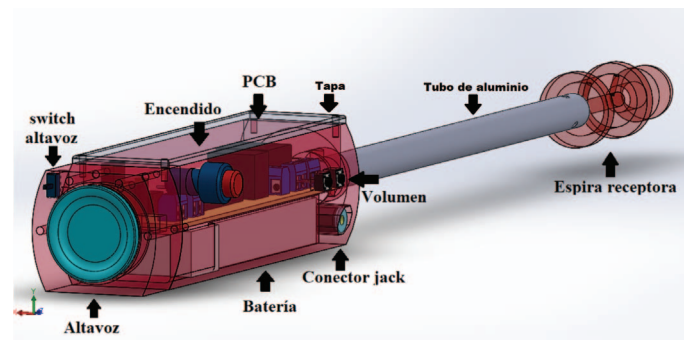


Fig. 8. Diseño y ubicación de componentes.

3D optando porque la mayor parte de las piezas fueran sólidas para aumentar su resistencia a posibles caídas como se observa en la Fig. 8. El peso total del bastón es de 680g.

VI. RESULTADOS

Las dimensiones de la espira emisora están acotadas por el tamaño de las baldosas estándar, las cuales son de forma cuadrada con 30 cm por lado. Debido a que el medio no afecta a la transmisión de datos por campo magnético, se decidió usar un núcleo de madera.

Siguiendo el análisis mostrado en la sección del modelado de espiras magnéticas, se definieron los parámetros de números de vueltas, voltaje y corriente, utilizando una señal cuadrada de 7.4V de amplitud y frecuencia de 67KHz.

Se realizaron ensayos utilizando 4 espiras emisoras con diferente número de vueltas utilizando calibre 18 y 26.

Los resultados obtenidos se verificaron de manera experimental de acuerdo a los valores de la tabla II en el que se muestran los resultados del voltaje inducido en la espira receptora a una distancia de separación de 1 cm.

TABLA II
COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES

Característica	Espira 1	Espira 2	Espira 3	Espira 4
Calibre del alambre	18	18	26	26
Número de vueltas	10	20	10	20
Corriente	52mA	72mA	54mA	74mA
Voltaje inducido	292mV	326mV	262mV	306mV

Como se observa en la tabla II el voltaje inducido mayor fue el de la espira 2 donde se utiliza un calibre 18 en comparación con la espira 4 que tiene el mismo número de vueltas y mayor corriente, pero un calibre menor, esto demuestra que el calibre del alambre influye considerablemente en la cantidad de voltaje que se induce. Por lo tanto se seleccionaron las características de la espira 2 como la configuración final a utilizar en el sistema embebido emisor.

Se observa que al duplicar el número de vueltas el voltaje inducido no necesariamente se duplica, solo aumenta entre un 10% y 15%.

También se verificó de manera experimental el decaimiento del voltaje inducido cuando la espira se encuentra enterrada por debajo de las baldosas en el concreto, obteniendo los resultados mostrados en la Fig. 9

El bastón fue probado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Tulancingo como se muestra en la Fig. 10 colocando algunas espiras emisoras enterradas a poca profundidad por debajo de las bifurcaciones con baldosas en diferentes ubicaciones.

El usuario al pasar sobre cada una de ellas corroboró que la distancia de detección entre las espiras emisora y receptora es favorable, con un alcance de detección de hasta 30cm, la amplitud de la señal de voltaje inducido fue amplificada correctamente, el microprocesador pudo identificar apropiadamente de que espira se trata generando la correspondiente señal de salida, se emitieron las instrucciones auditivas correspondientes a cada espira cuando el bastón pasaba sobre el umbral de detección de cada una de ellas.

Debido a que se utilizó un microcontrolador, como el encargado de efectuar las tareas de procesamiento, el consumo de energía es muy bajo, durante el proceso de detección el bastón consumen 30 mA y cuando se reproduce un comando de voz el consumo aumenta a 650 mA. Por esta razón la autonomía del bastón es de varios días y aún más si se opta por el uso de auriculares en lugar del altavoz.

Con respecto a las espiras emisoras, se observó que estas no se vieron afectadas al ser ubicadas por debajo de las baldosas, estableciendo la comunicación esperada, el consumo de corriente de las espiras emisoras es de 33 mA lo que permite alimentarlas con un arreglo de baterías y celdas solares de manera apropiada.

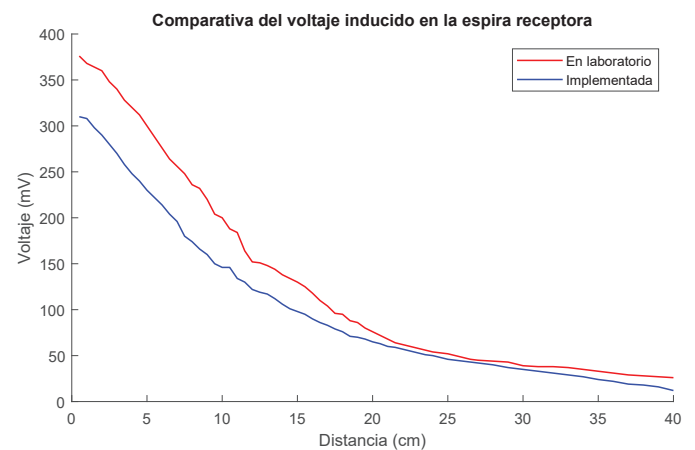


Fig. 9. Comparativa del Voltaje inducido.

VII. CONCLUSIONES

El diseño del sistema de apoyo para el movimiento de personas con deficiencia visual, basado en espiras magnéticas, cumplió con los objetivos establecidos. Es un dispositivo que utiliza campo magnético como el medio de comunicación que permite al usuario ubicarse espacialmente.

Las espiras emisoras son ubicadas por debajo de los caminos podotáctiles evitando ser un obstáculo para el traslado de los peatones. El rango de lectura se alcanza hasta una distancia de 30cm, distancia suficiente para la ubicación de la punta del bastón con respecto al piso.

Los comandos emitidos por el bastón son audibles teniendo como salidas bocinas o auriculares, que facilitan la interfaz con el usuario. Este prototipo ha sido utilizado dentro de las instalaciones de la UPT, pero puede ser adaptado, con mínimas modificaciones, para implementarse en otros espacios.

Aunque el proyecto todavía se encuentra en fase de prototipo, se espera que el costo del bastón sea considerablemente menor que los modelos comerciales actuales. Esto se debe a que los elementos del sistema se distribuyen entre el bastón y el conjunto de espiras emisoras, el usuario solo paga por el bastón y las instituciones públicas se encargan de los gastos de las espiras instaladas. En el caso de los bastones actuales el costo total del sistema es absorbido por los usuarios.

Como trabajo futuro se plantea modificar el diseño para que permita identificar el sentido del movimiento del usuario



Fig. 10. Bastón Inteligente.

y predecir su trayectoria y tiempo estimado de llegada al punto de interés. También se estudiará una nueva propuesta donde el bastón sea capaz de alimentar a las espiras emisoras mediante voltaje inducido, esto reduciría drásticamente los costos de mantenimiento e instalación del sistema.

REFERENCIAS

- [1] R. R. A. Bourne, S. R. Flaxman, T. Braithwaite, M. V. Cicinelli, A. Das, and J. B. Jonas, "Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis," *The Lancet Global Health*, vol. 5, pp. e888 – e897, October 2017.
- [2] 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*, pp. 60–63, Sep 2012.
- [3] A. A. Nada, M. A. Fakhri, and A. F. Seddik, "Assistive infrared sensor based smart stick for blind people," *2015 Science and Information Conference (SAI)*, pp. 1149–1154, July 2015.
- [4] M. P. Agrawal and A. R. Gupta, "Smart stick for the blind and visually impaired people," *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, pp. 542–545, April 2018.
- [5] H. Sharma, M. Tripathi, A. Kumar, and M. S. Gaur, "Embedded assistive stick for visually impaired persons," *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pp. 1–6, July 2018.
- [6] S. B. Kallara, M. Raj, R. Raju, N. J. Mathew, V. R. Padmaprabha, and D. S. Divya, "Indriya — a smart guidance system for the visually impaired," *2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*, pp. 26–29, Nov 2017.
- [7] "Ultracane." url <https://www.ultracane.com>.
- [8] E. S. Narayanan, D. G. Deepan, B. P. Nithin, and P. Vidhyasagar, "IoT based smart walking cane for typhlotic with voice assistance," *2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, pp. 1–6, Nov 2016.
- [9] M. H. Daudpota, A. A. Sahito, A. M. Soomro, and F. S. Channar, "Giving blind a smart eye: Designing and modeling of intelligent white cane for blind people," *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 1–6, Oct 2017.
- [10] J. C. Guerrero, C. Quezada-V, and D. Chacon-Troya, "Design and implementation of an intelligent cane, with proximity sensors, gps localization and gsm feedback," *2018 IEEE Canadian Conference on Electrical Computer Engineering (CCECE)*, pp. 1–4, May 2018.
- [11] T. Sharma, T. Nalwa, T. Choudhury, S. C. Satapathy, and P. Kumar, "Smart cane: Better walking experience for blind people," *2017 3rd International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE)*, pp. 22–26, Oct 2017.
- [12] "Wewalk." url <https://wewalk.io/en/>.
- [13] Q. Chen, M. Khan, C. Tsangouri, C. Yang, B. Li, J. Xiao, and Z. Zhu, "Cany smart cane," *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, pp. 1246–1251, July 2017.
- [14] G. A. Mutiara, G. I. Hapsari, and R. Rijalul, "Smart guide extension for blind cane," *2016 4th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, pp. 1–6, May 2016.
- [15] M. Balakrishnan, K. Paul, A. Garg, R. Paul, D. Mehra, V. Singh, P. Rao, V. Goel, D. Chatterjee, and D. Manocha, "Cane mounted knee-above obstacle detection and warning system for the visually impaired," *ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, pp. 143–151, 2007.
- [16] J. H. Kell, I. J. Fullerton, and M. K. Mill, "Traffic detector handbook," *Third Edition ed.*, vol. 1, October 2006.
- [17] S. Gupte, O. Masoud, R. F. K. Martin, and N. P. Papanikolopoulos, "Detection and classification of vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, pp. 37–47, March 2002.
- [18] A. Mocholí-Salcedo, J. H. Arroyo-Núñez, V. M. Milián-Sánchez, G. J. Verdú-Martín, and A. Arroyo-Núñez, "Traffic control magnetic loops electric characteristics variation due to the passage of vehicles over them," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, pp. 1540–1548, June 2017.
- [19] A. M. El-Geneidy and R. L. Bertini, "Toward validation of freeway loop detector speed measurements using transit probe data," *Proceedings. The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE Cat. No.04TH8749)*, pp. 779–784, Oct 2004.
- [20] V. Rakesh and V. Shaithya, "A traffic control system using inductive loop detector," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 4, Mayo 2015.
- [21] S. S. M. Ali, B. George, L. Vanajakshi, and J. Venkatraman, "A multiple inductive loop vehicle detection system for heterogeneous and lane-less traffic," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 61, pp. 1353–1360, May 2012.
- [22] J. H. Arroyo-Núñez, "Estudio del comportamiento magnético de espiras rectangulares para la transmisión de información de corto alcance en sistemas inteligentes de transporte.," *Center for Advanced Medical Innovation*, April 2016.
- [23] A. Mocholi-Salcedo, J. H. Arroyo-Núñez, V. Milián-Sánchez, M. J. Palomo-Anaya, and A. Arroyo-Núñez, "Magnetic field generated by the loops used in traffic control systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, p. 2126–2136, August 2017.



B. Villeda Félix Es estudiante de la maestría del departamento de Automatización y Control de la Universidad Politécnica de Tulancingo. Él está llevando a cabo su investigación en comunicación inalámbrica mediante espiras magnéticas. Sus áreas de interés de investigación incluyen: Sistemas de rehabilitación, Transmisión de información mediante campos magnéticos. Se graduó como ingeniero en mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango en el 2016.



J. H. Arroyo Núñez Es Profesor Investigador del Departamento de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones en la Universidad Politécnica de Tulancingo, México, donde también es Coordinador de Posgrado. Recibió el grado de Maestría por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México, en 2002 y el grado de doctor en ingeniería en electrónica por la Universidad Politécnica de Valencia en 2015.



R. S. Núñez Cruz Es profesor investigador en la Universidad Politécnica de Tulancingo, México. Sus áreas de interés incluyen: Diseño y control de sistemas mecatrónicos, algoritmos genéticos, control óptimo y visión artificial. Se graduó como ingeniero en mecatrónica en UPIITA del Instituto Politécnico Nacional en 2009, obtuvo el grado de maestría en control automático en el 2012 y el grado de doctor en ciencias con especialidad en control automático en el 2017 por el CINVESTAV.