

**PROTOTIPO DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON
LIMITACIÓN VISUAL**

**JUAN DAVID TOLOSA MESA
CÓDIGO 2004103055**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA**

Bogotá D.C. agosto de 2017

**PROTOTIPO DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON
LIMITACIÓN VISUAL**

JUAN DAVID TOLOSA MESA

CÓDIGO 2004103055

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Electrónica

Director: Diego Mauricio Acero

Docente Departamento de Tecnología

Asesor del Proyecto

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

Bogotá D.C. agosto de 2017

DEDICATTORIA

**A mi madre Gloria Patricia Mesa Chaparro y mi padre Fernando Wenceslao Tolosa
Gamboa, gracias a ellos he podido llegar a ser la persona que soy y es por ellos que espero
llegar cada vez más lejos, a ustedes con todo el corazón**

AGRADECIMIENTOS

Al asesor del proyecto Diego Mauricio Acero, si su incansable acompañamiento y su compromiso no hubiera sido posible llegar a feliz termino

A Gloria Patricia Mesa Chaparro, mi madre que en todo momento a sido mi mejor aliada, mi confidente y mi cómplice en todos los momentos en los que la he necesitado

A Melissa Hernández Torres, ella que a sido mi complemento, mi luz en la oscuridad, mi fortaleza y la razón para ser cada vez mejor

A Mónica Velandia, que me acompañado en los momentos más difíciles y gratificantes de la vida, estoy inmensamente feliz y me siento honrado de que hagas parte de mmi vida por ser parte de mi vida.

A Fabio Alberto Tolosa, por las constantes noches de trabajo en las que asumí este proyecto como propio y fue un aliado incondicional para la culminación de este reto.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4	

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	PROTOTIPO DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON LIMITACIÓN VISUAL
Autor(es)	Tolosa Mesa, Juan David
Director	Diego Mauricio Acero
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017 50 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ELECTRÓNICA DIGITAL, MICROCONTROLADORES, SENSOR ULTRASÓNICO, TARJETA STM32F4 DISCOVERY, SISTEMAS EMBEBIDOS, COMUNICACIÓN RF, KINESTÉSICA, PROGRAMACIÓN C, LIMITACIÓN VISUAL, DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS.
2. Descripción	
<p>Las personas en situación de discapacidad visual se mueven diariamente en un ambiente e infraestructura que no ha sido diseñada pensando en las barreras que implica para esta comunidad, ubicando objetos tanto a nivel del piso como a alturas medias y altas, siendo esto un peligro para la integridad física y emocional.</p> <p>Hacia 1920 se propuso que las personas con limitación visual utilizarán un bastón de color blanco con dos funciones específicas: suministrar información suficiente acerca del entorno y alertar a las demás personas con el fin de que sea reconocido, apoyado y respetado. Sin embargo, se definen como debilidades del bastón el restringir la capacidad de reacción y movimiento al requerir del agarre de la mano y brazo, así como que la detección de obstáculos se desarrolla al nivel del suelo, desconociendo otros elementos ubicados a alturas intermedias.</p> <p>Por lo anterior, se propone diseñar un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que, a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, le brinde información sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad a las personas con limitación visual.</p>	

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4	

Fuentes

En este estudio se adelantó la revisión de un total de 14 referencias bibliográficas, entre las cuales están:

Thomas L. Floyd. (2006). Fundamentos de Sistemas Digitales. Madrid: Pearson Educación.

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2007). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Nueva York.

Congreso de la República, (4 de Julio de 1991). Constitución Política de Colombia. Bogotá, Colombia.

Departamento Administrativo Nacional Estadística, D. (2008). Identificación de las Personas con Discapacidad en los Territorios desde el Rediseño del Registro. Colombia.

Congreso de Colombia. (2 de agosto de 2005). Ley 982 (Congreso 2 de agosto de 2005). Obtenido de <http://historico.presidencia.gov.co/leyes/2005/agosto/ley982020805.pdf>

Enrique Palacios. (2009). Microcontrolador PIC16F84. Madrid: Alfaomega Grupo Editor.

Fundacion Colombiana para la Discapacidad Visual. (2009).

Gridling, G. (2007). Introduction To Microcontrollers. Viena: Vienna University of Technology.

Havlik, J. (2008). El Valor Positivo Del No. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología CYTED.

Ley General de Educación, E. (8 de febrero de 1994). Ley 115 de 1994. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=292>

Martínez D., A. (2012). Bastón Blanco para Prevenir Obstáculos. Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

Ronald J. Tocci. (2007). SISTEMAS DIGITALES Principios y aplicaciones. Mexico: PRENTICE HALL.

Salas A., S. (2017). Todo sobresistemas embebidos. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Stive Heath. (2003). embedded Systems Design. Oxford: Newnes

3. Contenidos

El documento resultado de la investigación presenta inicialmente la fundamentación teórica relacionada con la electrónica digital, los microcontroladores y sistemas embebidos, así como la contextualización de la persona en situación de limitación visual, la segunda parte corresponde al diseño y construcción del prototipo de detección de obstáculos para personas con limitación visual y en la tercera parte se plantean las conclusiones y sugerencias de mejoramiento del prototipo planteado.

4. Metodología

Tomando como base la formulación del problema de investigación ¿Cómo diseñar y construir un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, le brinde información a las personas con limitación visual sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad?, se desarrollaron las siguientes fases basadas en el modelo de prototipos, ingeniería y análisis, análisis de los requisitos, diseño de software y hardware, ensamblaje y codificación, pruebas y mantenimiento.

5. Conclusiones

A través del proceso de investigación adelantado se puede afirmar que si es posible aplicar los conocimientos de la electrónica digital al diseño y construcción de un sistema electrónico, que con base a dispositivos de medición, reciba datos de longitudes y realice la ubicación de los obstáculos para posteriormente, a través de sistemas kinestésicos entregar esta información a la persona portadora, cabe anotar que se tomó como base las proporciones anatómicas promedio para el adulto colombiano.

Es un requisito indispensable que el usuario cuente con movilidad física dentro de parámetros adecuados, especialmente a nivel de equilibrio y desplazamiento, de lo contrario se debe adaptar el sistema a la situación limitante o la información recopilada por los sensores pierde confiabilidad.

La eficiencia en la implantación del prototipo está directamente relacionada con la capacidad del usuario de interpretar y reaccionar a las señales transmitidas por el sistema.

Elaborado por:	Juan David Tolosa Mesa
Revisado por:	Diego Mauricio Acero

Fecha de elaboración del Resumen:	01	08	2017
--	-----------	-----------	-------------

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
Formulación Del Problema.....	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
JUSTIFICACIÓN	16
MARCO TEÓRICO.....	18
ELECTRÓNICA DIGITAL.....	18
MICROCONTROLADORES	20
SISTEMAS EMBEBIDOS	23
SENSORES.....	26
LIMITACIÓN VISUAL	27
APLICACIONES TECNOLÓGICAS Y DISCAPACIDAD.....	29
DISEÑO METODOLÓGICO	32
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Circuito Receptor de Radiofrecuencia a 433 MHz	41
Figura 2. Circuito Transmisor de Radiofrecuencias a 433 MHZ	41
Figura 3. Circuito Receptor y Control de Motores.....	42
Figura 4. Sistema de Comunicación del Prototipo con el Usuario.....	42
Figura 5. Vista Frontal del Contenedor de los Sensores	44
Figura 6. Vista Lateral Izquierda del Contenedor	44
Figura 7. Vista Lateral Derecha del Contenedor	45

RESUMEN

Como resultado de la formación en la carrera de Licenciatura en Electrónica de la Universidad Pedagógica Nacional y entendiendo la tecnología como un mecanismo de inclusión a la sociedad se construyó un prototipo de detección de obstáculos para personas con limitación visual, apoyado en el control digital de sensores ultrasónicos de distancia que pretende soslayar las dificultades que esta discapacidad puede generar en esta población en términos de su movilidad y el riesgo que implica la presencia de obstáculos a diferentes niveles del suelo.

Se emplea el kit STM32F4 Discovery como herramienta de desarrollo digital para el control de los sensores de medición y del sistema en general, implementando estrategias de hardware y software basado en el lenguaje de programación C++ y sistemas de comunicación Bluetooth para la visualización, construcción y desarrollo del prototipo, así como también sistemas de comunicación por radio frecuencias para el manejo a distancia de diferentes sistemas.

Palabras Claves: Comunicación Rf, Detección de Obstáculos, Electrónica Digital, Kinestésica, Limitación Visual, Microcontroladores, Programación C, Sensor Ultrasónico, Sistemas Embebidos, Tarjeta Stm32f4 Discovery, Limitación Visual.

ABSTRACT

Because of my undergraduate studies in Licenciatura en Electronica at the Universidad Pedagógica Nacional, and having in mind that technology is a mechanism for social inclusion, a prototype for blind people to sense obstacles was built. The prototype is based on the digital control of distance ultrasonic sensors that avoid the difficulties that this disability might cause in terms of mobility and the risk of obstacles at different levels of the ground.

The STM32F4 Discovery kit is used as a digital development tool for the control of measurement sensors and of the system in general. Similarly, hardware and software strategies based on the C ++ programming language and Bluetooth communication systems for visualization, construction and development of the prototype have been implemented, as well as radio frequency communication systems for the remote management of different systems.

Key Words: Digital Electronics, Embedded Systems, Kinesthetic, Microcontrollers, Obstacle Detection, Programming C, Rf Communication, Stm32f4 Discovery Card, Ultrasonic Sensor, Visual Limitation.

PROTOTIPO TECNOLÓGICO DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON LIMITACIÓN VISUAL

INTRODUCCIÓN

Las personas en situación de discapacidad visual transitan diariamente en un contexto que no ha sido diseñado para esta población, ubicando obstáculos que limitan el libre y seguro desplazamiento en espacios públicos y privados, tanto a nivel del piso como a alturas medias y altas que representan peligro de accidentes.

Por lo anterior, se han diseñado diferentes herramientas como el bastón que permite identificar obstáculos, pero restringe la capacidad de reacción y movimiento al requerir del agarre de la mano y brazo, limitando el uso de este para otras actividades. Por otro lado, la detección de obstáculos se desarrolla al nivel del suelo, impidiendo detectar otros elementos ubicados a alturas intermedias.

En este orden de ideas, se propone diseñar un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, le brinde información sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad a las personas con limitación visual.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud aproximadamente 285 millones de personas sufren una discapacidad visual, alrededor de 39 millones de ellos tienen pérdida total y 246 millones tienen alteraciones asociadas a la baja visión, y el mayor número de casos se presenta en países con bajo nivel de desarrollo.

Para el individuo el sentido de la vista permite la identificación del entorno, por tanto es un factor que aporta en el proceso de construcción de la personalidad desde la infancia, ya que aproximadamente el 80% de la información que se procesa a nivel cerebral es percibida a través de este órgano, contextualizando frente a las características físicas de su entorno en términos de tamaños, formas, color, funcionalidad y propósito de ciertos objetos a su alrededor, así como del contexto social en el que se desenvuelve, en aspectos como grados de empatía o apatía, emociones y sentimientos manifestados por otros miembros de la comunidad.

Las personas en situación de discapacidad visual se mueven diariamente en un ambiente e infraestructura que no ha sido diseñada pensando en las falencias de información del entorno que presentan, ubicando objetos tanto a nivel del piso como a alturas medias y altas lo que representa peligro para la integridad física y emocional, limitando su libre y seguro desplazamiento.

Como posible solución, hacia 1920 José Fallótico (Martínez D., 2012) propuso que las personas con limitación visual utilizarán un bastón teñido de color blanco con dos funciones específicas: suministrar información suficiente acerca del entorno y alertar a los ciudadanos

acerca de la condición especial con la que cuenta la persona, con el fin de que socialmente sea reconocido, apoyado y respetado.

Actualmente se reconocen las debilidades del bastón como herramienta ya que restringe la capacidad de reacción y movimiento al requerir del agarre de la mano y brazo, limitando el uso de este para otras actividades, y que la detección de obstáculos se desarrolla al nivel del suelo, desconociendo otros elementos ubicados a alturas intermedias.

En este orden de ideas, se propone diseñar un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, le brinde información sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad a las personas con limitación visual.

Formulación Del Problema

¿Cómo diseñar y construir un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, le brinde información a las personas con limitación visual sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo tecnológico que permita la detección de obstáculos por medio de medidores de distancia que a partir de la transmisión de pulsos ultrasónicos y recepción de ecos, les brinde información a las personas con limitación visual sobre la distancia y altura en la que se encuentran los objetos facilitando la movilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Acondicionar instrumentos de medición ultrasónicos existentes en el mercado, para que el sistema reciba la información de longitudes de forma autónoma, sin la intervención directa del usuario.
- Generar un sistema a partir de micro controladores para la lectura de la información de longitud proveniente de medidores ultrasónicos.
- Construir un lenguaje kinestésico para la ubicación de los obstáculos
- Definir las características específicas del mecanismo detector de obstáculos de acuerdo con los materiales e insumos seleccionados
- Construir el prototipo tecnológico y adelantar pruebas preliminares

JUSTIFICACIÓN

Cada uno de los sistemas sensoriales juegan un papel importante a la hora de interactuar con el entorno, sin embargo, es usual que muchas personas tengan algún tipo de limitación en sus sentidos, y dependiendo del nivel de afectación, los mecanismos de ayuda usados por estas deben responder a necesidades particulares para lograr que las personas afectadas puedan adaptarse a su entorno, teniendo elementos que les permiten apoyarse en sus otros sentidos.

En este sentido, la tecnología pone al servicio de las personas en condición de discapacidad sus fundamentos teóricos, conceptuales y metodológicos para brindar soluciones que permitan mejorar su calidad de vida.

La presente propuesta piensa ocuparse de una de las problemáticas originadas por alteraciones en el sentido de la vista, lo referente a la movilidad y su resultante afectación de la autonomía y la calidad de vida; teniendo en cuenta que a través de la vista obtenemos gran cantidad de información del exterior, la pérdida parcial o total de este sentido supone una evidente desventaja. Si bien, a diario podemos ver a personas con limitación visual desplazándose con la ayuda de bastones, perros lazarillos o personas guías, las dificultades que les plantea el entorno siguen latentes y limitando su desenvolvimiento cotidiano.

Por otro lado, desde el campo de la tecnología se han desarrollado prototipos que abordan desde múltiples perspectivas esta situación, como la implementación y desarrollo de dispositivos electrónicos desde el tratamiento de señales, por medio de que convierten variables como la luz, la reflexión acústica y el electromagnetismo en electricidad, permitiendo a la persona con limitación visual tomar decisiones

tales como avanzar, disminuir velocidad, girar o detenerse, situación que tiene una clara relación con el planteamiento de herramientas que permitan solventar o aminorar las dificultades particulares.

De otra parte, la tecnología como un producto social permite establecer compromisos con las necesidades de una determinada sociedad, y todas las consideraciones que de esa responsabilidad se desprenden, la consolidación de la democracia, la paz y la justicia social deben ser metas directas del proceso de formación en tecnología. La propuesta de disminuir la brecha existente entre unos y otros a través de ayudas tecnológicas busca entonces aportar a los objetivos de la licenciatura en electrónica y a mejorar el proceso de inclusión de las personas en situación de discapacidad.

MARCO TEÓRICO

ELECTRÓNICA DIGITAL

“El término digital se deriva de la forma en que las computadoras realizan las operaciones contando dígitos. Durante muchos años, las aplicaciones de la electrónica digital se limitaron a los sistemas informáticos. Hoy día, la tecnología digital tiene aplicación en un amplio rango de áreas además de la informática. Aplicaciones como la televisión, los sistemas de comunicaciones, de radar, sistemas de navegación y guiado, sistemas militares, instrumentación médica, control de procesos industriales y electrónica de consumo, usan todos ellos técnicas digitales.” (Thomas L. Floyd, 2006)

El manejo de la información en un sistema tecnológico específico puede ser realizado mediante unidades lógicas, como en el caso de la electrónica digital que surge precisamente del uso de los dígitos como estas unidades. Lo anterior genera un cambio conceptual, pasando de un entendimiento análogo o continuo de la realidad, a la percepción de la realidad desde una mirada discreta, lo que facilita el acceso a nuevas tecnologías.

Una de las rutas de estudio y desarrollo de la electrónica es el diseño digital, el cual se sustenta en el uso de elementos tecnológicos, contruidos a partir de la evolución en la industria eléctrica de los semiconductores y específicamente de los transistores que permiten entre otras cosas, ser configurados en modo de corte y saturación, lo que implica estados de conducción y no conducción de energía, que pueden representar los dígitos con los que se desarrolla la electrónica.

De acuerdo con Floyd (2006) “La electrónica digital utiliza sistemas y circuitos en los que sólo existen dos estados posibles. Estos estados se representan mediante dos niveles de tensión diferentes: ALTO (HIGH) y BAJO (LOW). Estos dos estados también pueden representarse mediante niveles de corriente, bits y relieves en un CD o en un DVD, etc. En los sistemas digitales como las computadoras, las combinaciones de los dos estados, denominadas códigos, se emplean para representar números, símbolos, caracteres alfabéticos y otros tipos de datos. El sistema de numeración de dos estados se denomina binario y los dos dígitos que emplea son 0 y 1. Un dígito binario se denomina bit.”

A partir de la manipulación de los bits, por parte de sistemas como compuertas lógicas o interruptores simples en los proyectos más primitivos hasta llegar al control de los mismos por parte de los microcontroladores y microprocesadores se puede llegar a propuestas de solución a necesidades cada vez más desafiantes en el campo de la tecnología.

La electrónica digital es entonces, una de las ramas de la electrónica donde se analizan y manipulan las variables discretas que ingresan al sistema por medio de sensores o directamente por la interacción con el usuario, con el objetivo de tomar decisiones frente a las posibles salidas del mismo, constituyéndose como la estrategia de desarrollo más empleada y evolucionada en la actualidad.

El desarrollo de la electrónica digital ha permitido la acelerada evolución de este campo de la tecnología, logrando sistemas con mayores grados de complejidad, que responden a requerimientos cada vez más específicos y que demandan mayores estándares de confiabilidad y una rápida respuesta.

MICROCONTROLADORES

“Los microcontroladores se utilizan en circuitos electrónicos comerciales desde hace unos años de forma masiva, debido a que permiten reducir el tamaño y el precio de los equipos. Un ejemplo de estos son los teléfonos móviles, las cámaras de video, la televisión digital, la transmisión por satélite y los hornos microondas. Pero hasta hace poco tiempo, para el aficionado a la electrónica resultaba poco menos que imposible incluirlos en los montajes por diversas razones: alto precio, complejidad de los montajes y principalmente, por la escasez y el alto precio de las herramientas software.”

(Enrique Palacios , 2009)

Algunos de los grandes responsables del desarrollo de la electrónica digital son los micro controladores (Gridling, 2007). Del mismo modo, las tarjetas y los kits de desarrollo han simplificado el proceso de construcción de prototipos. Desde hace algunos años y con la ayuda de compañías como ST microelectronics, los kits de desarrollo han adquirido un papel protagónico en la academia debido a su versatilidad, la facilidad en la implementación de sistemas digitales, la reducción en el tamaño de los dispositivos basados en esta tecnología, y la disminución de los costos debido a la cada vez más creciente oferta por parte de las compañías productoras.

Por las nuevas dinámicas sociales y comerciales, el ser humano busca con mayor frecuencia herramientas que ofrezcan principalmente altos niveles de confiabilidad y portabilidad. Pues bien, con los microcontroladores estas necesidades pudieron ser cubiertas a niveles que décadas atrás fueron impensables. Debido al poco requerimiento de elementos periféricos, gracias a la inclusión de los mismos tanto en el microcontrolador como en el propio kit de desarrollo sobre el cual este ha sido ensamblado, se pueden realizar múltiples tareas con un bajo nivel de consumo de energía y una reducción notable en el tamaño de los circuitos.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que cuenta con diversos componentes internos, con los cuales se puede desempeñar tareas específicas; estas tareas serán asignadas al microcontrolador a través de una serie de instrucciones impartidas de una forma organizada, a través de programas de cómputo, que traducen las exigencias del diseñador en sistemas numéricos que configuran el comportamiento interno del integrado para atender a la manipulación de las variables de entrada provenientes normalmente de sensores y herramientas de interfaz con usuarios en acciones a ejecutar en un proceso.

Combinando las características de los microcontroladores con sensores cada vez más sofisticados, se puede atender a múltiples requerimientos de forma eficiente. Tal es el caso de los sistemas de medición de longitud basados en la Tecnología Sonar, estos aprovechan comportamientos físicos de las ondas sonoras tales como la velocidad del sonido y el principio de reflexión de las ondas sonoras, logrando ser integrados en sistemas móviles o estáticos.

En la actualidad, en el comercio se pueden obtener sensores de medición de longitudes a un bajo costo, estos son utilizados ampliamente en el estudio de la electrónica para desarrollar proyectos de control y robótica generalmente.

En el desarrollo de la electrónica digital, los microcontroladores, a diferencia de los microprocesadores son circuitos integrados que cuentan con estructuras físicas tales como una RAM (Random Aleatory Memory o memoria de acceso aleatorio) ROM (Read Only Memory o memoria de solo lectura) osciladores internos, puertos de entrada salida o I/O y un microprocesador incluido en la misma pastilla, entre otros.

Dichos elementos pueden ser programados con tareas específicas, a partir de entornos computacionales y estructuras algorítmicas. Estos programas podrán ser almacenados por el microcontrolador gracias a la presencia de la memoria interna del programa.

El microcontrolador es uno de los dispositivos electrónicos que revolucionó la industria de la electrónica a finales del año 1971 y se ha seguido desarrollando en el transcurso del tiempo. Según la Universidad Tecnológica de Viena (Gridling, 2007), el TMS1000 es quizás la primera presentación de estos dispositivos lanzados al mercado, al contar con unidades RAM, ROM y puertos I/O integrados en el mismo chip, unidades de conversión ADC, módulos de comunicación I2C y RS232 entre otras.

La oferta de microcontroladores es cada vez más versátil y amplia debida al gran número de compañías dedicadas al sector de la electrónica, tales como Atmel, Microchip y ST que dedican parte de sus esfuerzos en proponer alternativas de desarrollo óptimas a bajo costo, ha permitido la presencia de estos dispositivos en nuestro entorno cotidianamente, probablemente en el hogar contemporáneo se cuenta con hornos microondas, lavadoras digitales equipos de sonido y televisores que alberguen en su interior un microcontrolador como unidad principal de control.

SISTEMAS EMBEBIDOS

“Un sistema embebido es un sistema basado en un microprocesador que es construido para controlar una función o un rango de funciones y no es diseñado para ser programado por el usuario final como sí se podría reprogramar una computadora. Si, el usuario puede hacer cambios en la configuración de la funcionalidad, pero no puede cargar la funcionalidad por adición o remplazo del software. (...) un sistema embebido es diseñado para realizar una tarea específica aunque con la posibilidad de seleccionar diferentes opciones...” (Stive Heath , 2003)

Un sistema embebido desde la electrónica digital se puede definir como una plataforma física que permite desarrollar procesos tecnológicos con base en entradas de señales eléctricas que son traducidas en información que permiten alcanzar resultados electrónicos específicos.

De acuerdo con Sergio Salas Arriarán (Sergio Salas Arriarán, 2017) “El término «sistema embebido» hace referencia a todo circuito electrónico digital capaz de realizar operaciones de computación, generalmente en tiempo real, que sirven para cumplir una tarea específica”.

El Sistema Embebido percibe las señales eléctricas recibidas a partir de dispositivos transductores, las cuales son interpretadas por el microcontrolador asociado al sistema y a partir de esa manipulación tomar decisiones orientadas al control de otros dispositivos externos o actuadores con el fin de alcanzar un objetivo particular.

Dentro de los tipos de sistemas embebidos se encuentran los Kits de Desarrollo que constituyen una herramienta que facilita el aprendizaje de la electrónica a partir de la implementación física de proyectos digitales. Su interés primordial se centra en el desarrollo de software, permitiendo que los montajes sean prácticos de trabajar.

Los kits de desarrollo se muestran como una alternativa eficiente a la hora de implementar proyectos básicos o avanzados sin que esto implique un excesivo consumo de horas de trabajo. Esto se debe a que cuentan en la mayoría de los casos con múltiples dispositivos periféricos que permiten aprovechar al máximo todas las características con las que cuenta el microcontrolador incluido.

Por ejemplo, en el kit de desarrollo STM32F4 DISCOVERY, se encuentra un Microcontrolador STM32F407VGT6 con tecnología Cortex M4 de 32 bits con un núcleo de punto flotante o FPU por sus siglas en inglés. 1 Mbyte de memoria flash para alojar el programa de control del dispositivo, 192 Kbyte en un paquete LQFP100.

Así mismo, una región integrada a la tarjeta llamada ST-LINK/V2-A que permite una comunicación simple y el ordenador mediante un cable de conexión usb que permite la comunicación directa entre el microcontrolador y el ordenador a través del cual se diseñará el programa de control. En cuanto al suministro de energía de la tarjeta se desarrolla a través del puerto de comunicación usb o a través de alimentación externa de 5 voltios. La posibilidad de alimentación de aplicaciones externas a través de pines de alimentación de 3v y 5v.

También incluye un micrófono sensor de audio ST-MEMS referencia MP45DT02 omnidireccional, dos pulsadores integrados, uno para el control por parte del usuario y el otro de reset, cuatro leds de control de usuario, naranja, verde, rojo y azul.

En cuanto al Software se caracteriza por ser amigable con el usuario, de libre distribución que cuenta con gran variedad de ejemplos para el manejo de librerías estándar.

SENSORES

Un sensor es un mecanismo eléctrico o mecánico que tiene la capacidad de transformar percepciones de fenómenos físicos en señales eléctricas o mecánicas que serán empleadas para tomar decisiones por parte del sistema al que estén asociados. Algunas de las variables físicas que pueden ser medidas por medio de sensores en la actualidad son la temperatura, el sonido, la humedad, entre otras.

Entre la oferta de sensores electrónicos encontramos los sensores de distancia basados en ultrasonido, que inspirados en el fenómeno de reflexión de las ondas mecánicas, emiten pulsos ultrasónicos que viajarán por el espacio hasta chocar con algún elemento produciendo la reflexión de dichos pulsos. El microcontrolador que dirige el funcionamiento del sensor, permite contar el tiempo transcurrido entre la emisión de los pulsos ultrasónicos y la posterior recepción de los mismos reflejados en forma de eco, para así, a partir de la información de tiempo transcurrido y la velocidad de propagación de las ondas sonoras en el aire, calcular la distancia entre el sensor y el obstáculo.

Es el caso del sensor HC-SR04, medidor ultrasónico de distancia, que se caracteriza por presentar un bajo consumo tanto en su estado activo como en stand-by, siendo los valores de consumo de 5 voltios de alimentación, una corriente de 2 miliamperios en estado suspendido y de 20 miliamperios en estado de trabajo. Dicho sensor está compuesto por dos piezas eléctricas que actúan como un emisor de 8 pulsos de 40 KHz de sonido y un receptor del eco de los pulsos. Además, cuenta con circuitos integrados que se encargan del control interno del sensor.

LIMITACIÓN VISUAL

De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística la persona con limitación visual es definida como aquella que tiene dificultades para percibir la luz y distinguir objetos a pesar de utilizar lentes o gafas y que por tanto presenta dificultades en el desarrollo de su vida cotidiana. En general se clasifican como carencia total o parcial independientemente de la causa por la que se presenta.

Medicamentamente se han identificado diversas causas para la limitación visual, entre las que se encuentran problemas genéticos adquiridos a través de enfermedades como el glaucoma, las cataratas, la retinitis pigmentaria, el retinoblastoma, la obstrucción de vasos sanguíneos, la fibroplasia retrolenticular, neuritis óptica, ojo perezoso, desnutrición, envenenamiento por químicos y accidentes de diferente orden.

Las personas en situación de limitación visual en la mayoría de los casos vivencian diversas barreras que impiden la participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones, como en el caso de la movilidad y la detección de obstáculos en los espacios públicos que representan en general un riesgo de accidentes permanentemente.

De acuerdo con la Fundación Colombiana para la Discapacidad Visual la Baja Visión es definida como aquel que con su mejor corrección óptica desarrolla una agudeza visual que no supera los 20/60, es decir una pérdida de visión del 30% o su campo visual es inferior a 20 grados después de adelantar el tratamiento médico o quirúrgico requerido. En cuanto a la ceguera es diagnosticada a los pacientes que en su mejor ojo y con la mejor corrección óptica y tratamiento oftalmológico o quirúrgico, no supera el 20/200 equivalente a la pérdida visual del 80%.

En las últimas décadas se han desarrollado diversas ayudas técnicas como solución a los efectos de la discapacidad buscando favorecer la autonomía de las personas con limitación visual, algunas de ellas basadas en la potenciación del canal auditivo y el sentido del tacto como medios fundamentales de acceso a la información del entorno. Las personas con ceguera recurren al braille como sistema táctil de lectoescritura.

APLICACIONES TECNOLÓGICAS Y DISCAPACIDAD

“(...) Las personas con discapacidad tienen necesidades comunes a todos, pero que para satisfacerlas requieren ayudas especiales. La tecnología resulta un aliado indiscutible al cumplir esa función de brindar elementos especiales para la satisfacción de las necesidades comunes (...)”

Prof. Jarmila M. Havlik (2008)

El programa iberoamericano de ciencia y tecnología (CYTED), hace una propuesta a los países miembros encaminada a generar investigación y desarrollo sobre aplicaciones tecnológicas al campo de la discapacidad, en un documento redactado por la profesora Prof. Jarmila M. Havlik de la Universidad de Buenos Aires e integrante del comité ejecutivo del primer congreso de iberoamericano de informática educativa especial (CIIEE98), donde se señala que:

Esas necesidades comunes están ligadas en gran parte a la interacción del individuo con su entorno, la cual se ve seriamente afectada por su dificultad de ubicación espacial, en la medida de que sus necesidades básicas sean subsanadas, se esperan notorias las repercusiones positivas con respecto a su desenvolvimiento en la sociedad.

Si asumimos la definición que con respecto a tecnologías de apoyo hace Alcantud y Ferrer como cualquier artículo, equipo global parcial, o cualquier sistema adquirido comercialmente o adaptado a una persona, que se usa para aumentar y mejorar capacidades funcionales de individuos con discapacidades,

podemos caracterizar dichas tecnologías como productos que pueden ser diseñados en el espacio académico de sistemas digitales de la carrera de la licenciatura en electrónica.

El sensor biauditivo kay es uno de los prototipos construidos con el fin de solventar las dificultades de movilidad de las personas con discapacidad visual, consiste en unos lentes con sensores ultrasónicos que aprovechan los efectos de reflexión de las ondas sonoras de baja frecuencia y luego de una debida manipulación estimulan al usuario con vibraciones que indican en tres sentidos la ubicación de los obstáculos, sin embargo estos no brindan información con respecto a las múltiples alteraciones existentes en el suelo, tales como depresiones y sobresaltos, por tal razón, este dispositivo funciona como un buen aliado de bastón pero no excluye el uso del mismo.

Una estrategia adaptada al uso del bastón fue la adecuación de sensores ultrasónicos a este, lo cual permitía una mayor cantidad de funciones, por ejemplo, la detección de obstáculos era más precisa que con un bastón tradicional, sin embargo, la persona requiere el uso de una de sus manos para la manipulación de este.

Dispositivos como el pathsounder Rusell también se apoya en tecnologías de ondas, en este caso ultrasónicas, pero aunque en internet se pueden encontrar referencias con respecto a la implementación de estos dispositivos a un nivel investigativo, no es un sistema que sea de fácil adquisición.

En Colombia, se ha diseñado por parte de Raúl Castro Sánchez y Álvaro Mediorreal, como proyecto de tesis de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, un radar protector para invidentes en el año de 1991, aprovechando los principios de los sistemas ultrasónicos. Este sistema fue puesto en aplicación en el proyecto de grado “Re educación del movimiento en adolescentes con limitación visual aplicando como estrategia un sensor ultrasónico” realizada por Linda Ruth Castro y otros, de la

Universidad Pedagógica Nacional, Facultad de Educación en el área de educación especial en junio de 1994.

En dicha implementación se llegó a la conclusión de que en la medida que los niños con discapacidad visual reciban a través de estos dispositivos estímulos sensoriales continuos y variados se logrará un mejor desarrollo de la orientación y movilidad, es por esto necesario ofrecer nuevas alternativas en este campo.

Los sistemas infrasónicos están condicionados por variables tales como el tipo de material del obstáculo y el ángulo de incidencia del mismo.

DISEÑO METODOLÓGICO

La construcción de un prototipo implica el acercamiento inicial a la solución de un requerimiento particular sin importar la índole de este. El prototipo puede ser pensado en el campo de la tecnología como el primer objeto tangible y funcional que pretende satisfacer una necesidad específica de un usuario.

Una particularidad del planteamiento y construcción de prototipos es la posibilidad de modificar muchas de las características definidas en este primer acercamiento. Puede ser que dichas características sean potenciadas o por el contrario rechazadas en los productos terminados. La decisión de avalar o negar la implantación de estas características toma de base aspectos como la súbita alza de los costos del objeto terminado y la inclusión o exclusión de especificaciones definidas en el prototipo por su cercanía o alejamiento de los objetivos iniciales planteados en el proyecto.

Para la presente investigación se tomó como base las propuestas de la metodología de “Modelo de Prototipos” orientada a la rama del diseño de software, complementando con el diseño de hardware. Esta metodología define 6 fases, las cuales incluyen: la Fase de ingeniería y análisis del sistema, la Fase de análisis de los requisitos, la Fase de diseño, la Fase de ensamble y codificación, la Fase de pruebas y la Fase de mantenimiento. Cada una de estas fases fue implementada durante el proceso de construcción del prototipo.

Partiendo de las características del problema de investigación que da origen al diseño de un artefacto tecnológico, se desarrolla la Fase de ingeniería y análisis, donde es necesario delimitar tanto los avances de la tecnología actual como la factibilidad de la implementación de los sistemas necesarios para

alcanzar el objetivo. En este primer momento, surgen las ideas de solución a partir de los conocimientos adquiridos en el proceso de formación tecnológica y es allí donde se idean las posibles estrategias.

Es necesario hacer unos ajustes a la metodología Modelo de Prototipos, ya que ésta es originalmente orientada al diseño de software. Por tanto se deben incluir otros parámetros relacionados con la implementación del hardware. Entre las modificaciones se deben tener en cuenta las especificaciones técnicas de los dispositivos electrónicos existentes que se utilizarán en la construcción del prototipo, estos dispositivos deben cumplir tareas requeridas por el proyecto general y deben contar con virtudes tales como la facilidad de adquisición de las herramientas de desarrollo de software y hardware, alto nivel de portabilidad y compatibilidad con los demás componentes asociados.

Para el caso de la presente investigación, la pérdida del sentido de la visión es quizás una de las situaciones de la vida cotidiana que sitúa al individuo perteneciente a una comunidad en una posición de desventaja frente al normal desarrollo de sus actividades cotidianas, como el desplazarse de un lado a otro sin que esto implique la colisión con los elementos que se encuentran en medio de su marcha y la anticipación a objetos ubicados a alturas intermedias.

Dentro de las estrategias que se han implementado para subsanar esta problemática se encuentra el uso de perros lazarillos, personas guías y el tradicional bastón blanco. Sin embargo, surge la necesidad de a partir de la tecnología como motor de transformación social, aportar nuevas herramientas que procuren el mejoramiento de la calidad de vida de aquellos que pueden verse en estado de desigualdad por su situación particular.

De acuerdo con lo anterior, se desea construir un mecanismo electrónico prototipo de detección de obstáculos para personas con limitación visual que permita identificar la presencia de estos tanto a nivel

de suelo como ubicados a diferentes alturas en la línea de desplazamiento. El prototipo deberá informar de auditiva o quinestésica al usuario del dispositivo la presencia del objeto.

Las otras especificaciones del dispositivo tienen que ver con la portabilidad, fácil de integrar y retirar del cuerpo de la persona, por tanto de transportar, contar con autonomía de energía suficiente para acompañarle en sus recorridos y afectar en lo menos posible el normal desplazamiento del usuario.

En la fase de análisis de los requisitos se definen las metas de funcionalidad del prototipo y los requerimientos basados en el usuario al que va dirigido. En esta etapa se proyectan los alcances del prototipo y se reevalúan las especificaciones técnicas de los dispositivos sin entrar en detalles. Se listan los conjuntos funcionales que serán tenidos en cuenta para la realización del prototipo.

Simultáneamente se adquiere la plataforma de construcción del software para el programa de control del Kit de Desarrollo, así como la bibliografía asociada tanto a ésta como a los demás circuitos integrados tenidos en cuenta para el prototipo, que incluye los manuales de manipulación de la tarjeta, los datasheet de los circuitos integrados, los tutoriales de apoyo al desarrollo de proyectos y de manipulación del software asociado con la programación de la tarjeta principal.

De esta forma evitar que surja en etapas posteriores del proceso la necesidad de adquirir materiales no previstos, además impedir que se cambien o modifiquen las metas que se quieren alcanzar con el prototipo.

De acuerdo con las especificaciones planteadas en la presente investigación, se optó por la construcción del prototipo en dos partes. La primera de ella estará encargada de almacenar el circuito principal, los sensores de ultrasonido dispuestos adecuadamente para realizar las mediciones a los

obstáculos, un dispositivo de comunicación bluetooth que enviará las mediciones realizadas a un teléfono móvil que será empleado en la etapa de codificación y ensamble, un dispositivo de transmisión de radio frecuencia que controlará la segunda parte del sistema y una batería de alimentación.

Como herramienta principal se usa el kit de desarrollo STM32F4 Discovery, producto fabricado por la compañía ST Microelectronics¹. Este kit cuenta con el microcontrolador STM32F407VGT6 con tecnología ARM² Cortex-M4 y núcleo de 32 bits, acoplado a un sistema embebido que cuenta entre otras, con 4 leds de control de usuario, 5 puertos con 12 pines de propósito general, configurables a merced del programador, alimentación de 5 voltios a través de puerto USB OTG, pines de suministro de energía de 5 voltios o de 3 voltios para aplicaciones externas y algunas otras herramientas como acelerómetro, micrófono digital, un conversor análogo digital o DAC con un Jac de conexión para plug de 3.5.

Dichas características convierten el kit de desarrollo citado en una atractiva alternativa para la construcción de prototipos, dejando la puerta abierta a múltiples adiciones o modificaciones futuras al prototipo inicial.

El sensor que se emplea para la construcción del dispositivo es el HC-SR04. Este está encargado de medir las distancias a la que se encuentra el objeto con la ayuda de la interpretación del kit de desarrollo.

¹ST es una compañía global de semiconductores con ingresos netos de US \$ 6,97 mil millones en 2016. Ofreciendo una de las carteras de productos más amplias de la industria, ST atiende a los clientes en todo el espectro de aplicaciones electrónicas con innovadoras soluciones de semiconductores para control inteligente e Internet de las cosas.

² La tecnología de ARM[®] está en el corazón de una revolución de la computación y de la conectividad que está transformando la manera que la gente vive y los negocios funcionan. Cada día más de 45 millones de chips ARM-basados son enviados por nuestros socios en los productos que realzan la experiencia humana: Conectando a la gente, mejorando vidas y haciendo posible lo imposible. Desde el sensor hasta la nube y todos los puntos intermedios, ARM está configurando el mundo conectado inteligente

El uso de este sensor se debe a cuatro razones: la primera es su fácil acoplamiento a las especificaciones del prototipo al ser de un tamaño y un peso mínimo, además de contar con la posibilidad de realizar mediciones en un rango de 2 cm hasta 400 cm, la segunda es su fácil adquisición ya que es un dispositivo comúnmente utilizado en proyectos académicos, como tercer ventaja tenemos que el consumo de energía se limita a 5 voltios y por último, el costo en comparación a otros sensores ultrasónicos como el SRF05 es evidentemente menor.

Se requiere también de un sistema de comunicación de radiofrecuencias (en adelante rf) entre la plataforma de los sensores ubicada en la cintura del usuario y la segunda etapa del prototipo ubicada en el brazo, con el fin de evitar conexiones físicas por medio de cables que pueden ocasionar incomodidad a la hora del uso del prototipo.

La comunicación rf se realizará por medio de la pareja de circuitos codificadores y decodificadores HT12E y HT12D, estos serán empleados por su fácil implementación y bajo costo. Los circuitos integrados trabajan de la mano con la pareja de módulos emisor/receptor de 433 MHz de rf para Arduino®

La segunda parte es un guante compuesto por micromotores comúnmente empleados como vibradores para teléfonos móviles, que estarán dispuestos en los dedos a través de los cuales se notifica la posición de los obstáculos al usuario. Estará conectada por un cable a un brazalete que almacena un circuito de control del receptor rf para las señales enviadas desde el sistema de control de los sensores y realizar la etapa de potencia para los micromotores; por último, almacenará una batería de alimentación.

La etapa de control de los motores se realiza usando los transistores BC-547, configurados en modo corte y saturación, a través de un demultiplexor CD-4051 que permitirá direccionar los 5 motores.

El software para el control del kit de desarrollo se construirá en la herramienta Atollic trueSTUDIO®³, este es un software libre orientado a dispositivos con tecnología ARM y adquirido a través de la plataforma de la compañía ST. Como herramienta de apoyo se usa el software stm32cubeMX⁴ que permite visualizar la conexión de los diferentes pines del microcontrolador a los dispositivos periféricos asociados al kit, de este modo se pueden seleccionar los pines a emplear para el desarrollo del dispositivo. Cabe señalar que este software es también de libre adquisición por medio de la plataforma de internet de la compañía ST.

En cuanto a las características del usuario tenido en cuenta para el diseño del prototipo, se recurre a la propuesta de proporcionalidad anatómica planteada por Leonardo Da Vinci en su famosa obra “el hombre de Vitruvio”, en la que se establecen parámetros como la razón de la distancia entre el centro del cuerpo humano, la cabeza y los pies, y la medida promedio de la cintura en hombres y mujeres con edades en etapa adulta. Basados en estas proporciones se establecen los parámetros de medidas para los diferentes sensores del prototipo.

En la tercera fase que corresponde al diseño de software y hardware, se descompone la construcción en unidades funcionales, trabajadas por separado, dirigidas por una visión global del sistema. Puesto que las metas a alcanzar por cada una de estas unidades funcionales han sido previamente establecidas, es posible seleccionar adecuadamente los elementos físicos y lógicos de los que se componen; del mismo modo, la interrelación de cada una de estas unidades con el sistema en general debe ser prioritaria para un posterior ensamble del hardware y la codificación del software en la siguiente etapa.

³Atollic® fue fundada en 2003 por un experimentado equipo directivo. Los fundadores tienen una amplia experiencia como gerentes y desarrolladores de software de las herramientas integradas, automoción y las industrias aeroespaciales.

⁴ Vid nota (1)

Se debe también adquirir, diseñar y construir piezas tales como los circuitos sobre las que se implementan los circuitos auxiliares al Kit de desarrollo principal, circuitos integrados, transistores, resistencias y cables de conexión, las fuentes de alimentación de voltaje y los elementos que van a albergar el hardware entre otros.

Para el caso del prototipo objeto de esta investigación, se desarrollaron varias tareas específicas para la realización por sub etapas de las unidades funcionales, que incluyen las siguientes: diseño del programa de control de un sensor, diseño de las placas de los circuitos auxiliares, diseño de programa de prueba de comunicación rf, diseño del programa de control de los cinco sensores y comunicación bluetooth, diseño y construcción del contenedor del sistema principal, diseño y construcción del guante y brazalete y diseño del programa del conjunto de sensores.

Dentro de las tareas a desarrollar, se encuentra el Diseño del programa de control de cada sensor, operación que consiste en aplicar en el pin *trigger* un pulso de por lo menos 10 us, luego de esto se generan en el piezoeléctrico transmisor ocho pulsos ultrasónicos de 40 KHz que viajaran por el aire hasta chocar contra un obstáculo para ser reflejados poniendo el pin de *echo* en un nivel lógico alto (5 voltios) y lo mantendrá así hasta recibir la reflexión de estos pulsos en el piezoeléctrico receptor. El microcontrolador del kit estará encargado de contar el tiempo que permanece el pin de *echo* en alto. Finalmente, conociendo la información del tiempo transcurrido y la velocidad promedio del sonido en el aire es posible calcular la distancia a la que se encuentra el objeto.

La fórmula para calcular la distancia proviene de la física clásica, en ella se establece que la distancia es proporcional a la velocidad y al tiempo transcurrido, la fórmula es la siguiente:

$$\textit{Distancia} = \textit{velocidad} \times \textit{tiempo}$$

La velocidad del sonido es aproximadamente de 343,2 m/s a una temperatura de 20° y una humedad relativa del ambiente del 50%. Esto implica que si alguna de estas dos condiciones varía, las mediciones realizadas por el sensor también se modificarán, sin embargo estas variaciones están dentro de un rango de tolerancia de +/- 2% de acuerdo al promedio climatológico para Colombia, lo que implica una variación mínima de las mediciones realizadas y por consiguiente un riesgo mínimo de accidentes del usuario.

Para el desarrollo del prototipo se hace necesaria la visualización de las medidas realizadas por los diferentes sensores, es por esta razón que a partir de los módulos de comunicación *usart* presentes en el microcontrolador se implementó un módulo bluetooth que transmite esta información a la pantalla de un teléfono móvil que cuenta con la misma tecnología.

La siguiente fase corresponde al ensamble y codificación donde se procede a construir el prototipo, es el momento de montar los circuitos auxiliares, los sensores y las fuentes de alimentación, así como el cableado correspondiente y la integración de las unidades funcionales. Se procede al diseño de los primeros programas de control del kit de desarrollo. Llegados a este punto, el prototipo tendrá una forma preliminar, que proporcionará una mejor perspectiva a los ajustes que deberán ser realizados al sistema.

La siguiente tarea es el Montaje de los circuitos emisor y receptor rf que se construyeron a partir de los integrados HT12E y HT12D; estos son circuitos codificadores y decodificadores que permiten el uso de cuatro canales de comunicación con la ayuda de los respectivos transmisor y receptor de radiofrecuencias de 433 MHz diseñados para la plataforma Arduino®⁵. Su fácil implementación, el uso

⁵ Arduino® es una herramienta popular para el desarrollo de productos IoT, así como una de las herramientas más exitosas para la educación STEM / STEAM. Cientos de miles de diseñadores, ingenieros, estudiantes, desarrolladores y fabricantes de todo el mundo están utilizando Arduino para innovar en música, juegos, juguetes, casas inteligentes, agricultura, vehículos autónomos y más

limitado de elementos externos y el reducido consumo de energía hacen que esta alternativa de comunicación sea la adecuada para el sistema.

La comunicación rf es diseñada para comunicar las dos partes del prototipo, donde la primera parte corresponde a un contenedor principal de sensores ubicado en la cintura del usuario y la segunda está compuesta por un brazalete y un guante que brinda información al usuario.

Debido a que la distancia a la cual deben enlazarse el guante y el contenedor principal de sensores es menor a 7 metros, no se requiere el uso de antenas para la etapa de recepción y transmisión rf. Por otra parte, puesto que el sistema de comunicación dispone de 4 canales, se usan 3 de ellos como entradas de control para el demultiplexor CD4051 del que se conectan los cinco motores como salidas.

El método de comunicación del sistema con el usuario es kinestésico, esto implica que la ubicación de los obstáculos va a ser advertida por medio de la vibración de los motores dispuestos en los dedos del guante, esto con el fin de evitar otro tipo de interacciones tales como las señales auditivas, ya que se pretende usar lo menos posible los otros sentidos de los cuales dispone el usuario.

La implementación de la etapa de comunicación rf se presenta a continuación:

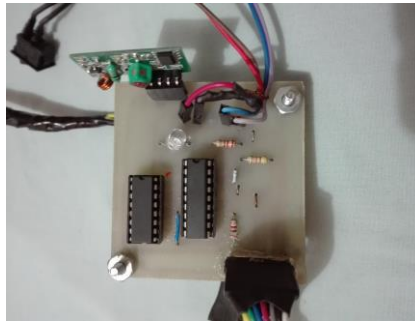


Figura 1. Circuito Receptor de Radiofrecuencia a 433 MHz

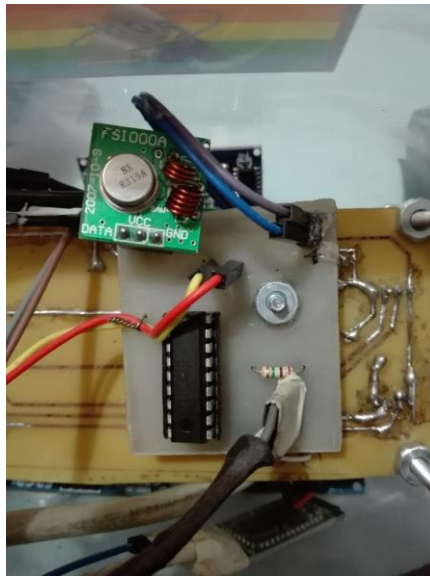


Figura 2. Circuito Transmisor de Radiofrecuencias a 433 MHz

Para el caso del brazalete, este almacena los circuitos de control de los motores, el circuito receptor rf y la batería de alimentación. A su vez está conectado al guante donde se instalan los micromotores por medio de un cable.

El paso por seguir es integrar los circuitos emisor y receptor al contenedor de los sensores y al brazalete respectivamente. El sistema de recepción está compuesto por el guante y el brazalete quedando de la siguiente manera:

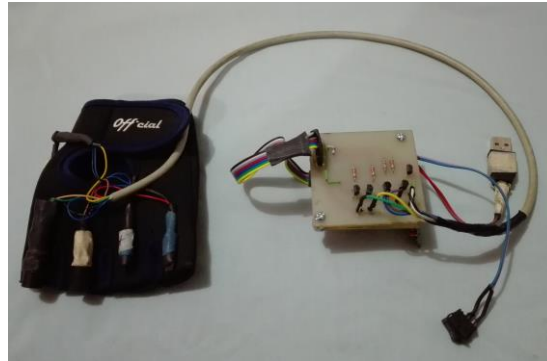


Figura 3. Circuito Receptor y Control de Motores



Figura 4. Sistema de Comunicación del Prototipo con el Usuario

La siguiente tarea es el diseño y construcción del contenedor rígido principal donde se ubican en la parte externa los cinco sensores apuntando en cinco direcciones, el sensor 1 apunta hacia arriba con un ángulo de elevación de 70 grados, los sensores 2 y 5 apuntan hacia adelante y están separados 5 cm el uno

del otro, y los sensores 3 y 4 apuntan hacia abajo con ángulos de depresión de 50 grados y 70 grados respectivamente.

Se dispone de una baquelita que sirve para la distribución de energía a cada uno de los sensores y centraliza las señales de *trigger* y *echo*, esto con el fin de evitar un uso excesivo de cables que producen fallas de funcionamiento del prototipo.

La implementación tanto de la baquelita como del contenedor rígido se produjo debido a un montaje preliminar donde los sensores fueron ubicados en un contenedor blando tipo maletín, que en primer lugar no suministraba la estabilidad suficiente a los sensores, y en segundo lugar permitía una excesiva movilidad de los cables empleados para el control de los mismos, generando fallas de conexión. así que se diseñó y construyó nuevamente el contenedor de sensores en un material de plástico que no representaba aumentos considerables en el peso total del sistema y redujo sustancialmente la presencia de errores físicos de conexión.

Un factor que se debe tener en cuenta en el diseño y la construcción de esta baquelita es la selección correcta del grosor de las pistas o los caminos con los que esta contara; en el caso del prototipo, si bien las corrientes con las que trabaja el sistema son bajas y no demandan un excesivo grosor, la manipulación frecuente, el proceso de soldado y la integración de los diferentes elementos que integran el circuito someten la baquelita a un alto estrés mecánico que puede conducir a fallas de conexión y rupturas de los caminos de conexión. Así mismo, los puntos terminales o bornes de las diversas placas deben contar con un área adecuada para la conexión de los elementos y la consecuente aplicación de soldadura.

Otra ventaja del uso de este contenedor fue la impermeabilización del sistema principal, el posible futuro deterioro producido por causas ambientales y la ausencia de movilidad interna entre el kit de

desarrollo, el circuito de transmisión rf y el conjunto de sensores, buscando aminorar la aparición de fallas mecánicas posteriores al ensamblaje definitivo

El resultado de esta etapa se presenta a continuación:



Figura 5. Vista Frontal del Contenedor de los Sensores



Figura 6. Vista Lateral Izquierda del Contenedor



Figura 7. Vista Lateral Derecha del Contenedor

La tarea final de esta fase corresponde a la integración del contenedor de los sensores al sistema de comunicación del prototipo con el usuario.

La quinta es la fase de pruebas donde se pondrán en marcha las diferentes unidades funcionales por separado validando su adecuado desempeño, para una vez avaladas, retornar a la etapa de ensamble e integrarlas como sistema completo. Acto seguido se prueba el funcionamiento del dispositivo de forma global.

La última fase es la de mantenimiento al considerar que el prototipo ha sido terminado, por lo cual se pone a funcionar y se detectan las fallas que presenta, los ajustes que deben ser aplicados, las mejoras y modificaciones que se pueden realizar como sugerencias para el proceso de construcción futuro. Dichas modificaciones pueden estar influenciadas por cambios físicos, legales, tecnológicos, conductas o estilos de vida de los usuarios del prototipo.

Para el caso de este prototipo se detectó en esta etapa un problema de alimentación de energía. ésta en principio se daría a través de un banco de carga para celulares de 5v con 4000 mA de capacidad con cuatro puertos de salida para conexión, a los cuales iba conectado tanto el kit de desarrollo como el conjunto de sensores y el sistema emisor de comunicación rf, cada uno de ellos alimentado de forma independiente. Por otro lado, la alimentación del guante se daría a través de otro banco de carga de menor capacidad, con 5V igualmente, pero con 2400 mA de corriente.

Estas herramientas de energía habían sido tenidas en cuenta preliminarmente por su bajo costo, la posibilidad de ser recargadas, su bajo peso y poca exigencia de espacio dentro del prototipo, sin embargo, luego de aproximadamente 10 ciclos de trabajo de las baterías internas de estos dispositivos su funcionamiento no fue óptimo, logrando cargas inferiores a 5V y tiempos muy limitados de operación. Por lo anterior se optó por un conjunto de 4 baterías recargables de 1.3V cada una, conectadas en serie para un total de 5,2V para el sistema principal y una batería de 9V recargable, regulada a 5V mediante el integrado LM7805 para alimentación de los sistemas en el guante.

Lo anterior condujo a lograr tiempos de operación del sistema que sobrepasaron las 100 horas de trabajo, en intervalos de tiempo mayores a las cuatro horas antes de ser necesario un nuevo proceso de carga. Estas modificaciones fueron realizadas sin mayores contratiempos y permitieron solucionar las fallas detectadas.

En términos de software fue necesario aumentar el tiempo de espera entre las mediciones de los sensores, de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante es necesario dar un tiempo al sensor de por lo menos 60 ms entre una medición y otra. Las primeras pruebas de funcionalidad se realizaron con este tiempo, pero a medida que este se extendió hasta llegar a los 100 ms se obtuvieron mediciones más estables, esto debido a la anulación de ecos residuales de mediciones anteriores.

Estas etapas se llevan a cabo de manera secuencial, permitiendo volver a la fase anterior para reevaluar, reestructurar o redefinir las características, aunque debe evitarse al máximo. Lo anterior implica que, si en la fase de diseño por ejemplo se detectan anomalías o incongruencias con los materiales y/o procesos planteados en el análisis de los requisitos, cabe la posibilidad de retornar rápidamente a dicho análisis para hacer los ajustes necesarios, buscando que estas modificaciones sean incluidas prontamente en el proceso. Una vez realizadas las correcciones se retorna a la fase de diseño y se comprueba las ventajas o desventajas de los cambios realizados.

Se hace entonces necesario un proceso en el cual se haga un tratamiento adecuado de la información recibida de los sensores por parte del kit de desarrollo, así como también será necesario manipular el ángulo de acción de los sensores y manejar esta variable como referente para posicionar al portador del sistema en el centro de un eje coordenado de tres dimensiones desde el usuario hasta el obstáculo, para luego señalar la posición de este último a través del guante diseñado como sistema de comunicación kinestésico, aportando información con respecto a su entorno e indicándole oportunamente la ubicación de los potenciales riesgos en su movilidad.

CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- A través del proceso de investigación adelantado se puede afirmar que si es posible aplicar los conocimientos de la electrónica digital al diseño y construcción de un sistema electrónico, que con base a dispositivos de medición, reciba datos de longitudes y realice la ubicación de los obstáculos para posteriormente, a través de sistemas kinestésicos entregue esta información a la persona portadora.
- El prototipo resultante fue diseñado tomando como base las proporciones anatómicas promedio para el adulto colombiano, pero debe tener un proceso de calibración para el usuario específico teniendo en cuenta aspectos como la estatura y la contextura física para alcanzar los mejores resultados.
- Cabe anotar que para que el prototipo alcance los objetivos propuestos, el usuario debe contar con movilidad física dentro de parámetros adecuados, especialmente a nivel de equilibrio y desplazamiento.
- Para el caso de los usuarios que cuentan con otras discapacidades asociadas se debe llevar un proceso de adaptación del sistema específico para la situación limitante, de lo contrario la información recopilada por los sensores pierde confiabilidad.

- En diseños posteriores se sugiere la inclusión de características adicionales del kit de desarrollo tales como el acelerómetro, que permitirían contribuir con el adecuado manejo de la postura corporal de los usuarios del dispositivo.
- Durante el proceso de validación de resultados se identificó que la información recolectada pierde confiabilidad cuando el obstáculo está diseñado en ciertos materiales como tela, papel o cartón, así como con objetos con dimensiones reducidas o inferiores a medio metro cuadrado, aspecto que se pretende solucionar en futuros procesos de investigación.
- La eficiencia en la implantación del prototipo está directamente relacionada con la capacidad del usuario de interpretar y reaccionar a las señales transmitidas por el sistema, razón por la cual, se debe adelantar capacitación previa a la utilización. En este orden de ideas, se debe realizar adaptaciones específicas para el caso de usuarios que adicionalmente a la limitación visual presenten algún tipo de discapacidad cognitiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Thomas L. Floyd. (2006). *Fundamentos de Sistemas Digitales*. Madrid: Pearson Educación .
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2007). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Nueva York .
- Congreso de la República,. (4 de Julio de 1991). Constitución Política de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional Estadística, D. (2008). Identificación de las Personas con Discapacidad en los Territorios desde el Rediseño del Registro. Colombia.
- Congreso de Colombia. (2 de Agosto de 2005). *Ley 982 (Congreso 2 de agosto de 2005)*. Obtenido de <http://historico.presidencia.gov.co/leyes/2005/agosto/ley982020805.pdf>
- Enrique Palacios . (2009). *Microcontrolador PIC16F84*. Madrid: Alfaomega Grupo Editor.
- Fundacion Colombiana para la Discapacidad Visual. (2009).
- Gridling, G. (2007). *Introduction To Microcontroladores*. Viena: Vienna University of Technology.
- Havlik, J. (2008). El Valor Positivo Del No. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología CYTED*.
- Ley General de Educación, E. (8 de Febrero de 1994). *Ley 115 de 1994*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=292>
- Martínez D., A. (2012). *Bastón Blanco para Prevenir Obstáculos*. Mexico D.F.: Instituto Politecnico Nacional.
- Ronald J. Tocci. (2007). *SISTEMAS DIGITALES Principios y aplicaciones*. Mexico: PRENTICE HALL.
- Salas A., S. (2017). *Todo sobresistemas embebidos*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Stive Heath . (2003). *embedded Systems Desing*. Oxford : Newnes .