



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Bastón blanco inteligente con evasión de obstáculos

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Nahúm Quijas Hernández

DIRECTOR DE TESIS

Ana Gabriela Gallardo Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2014

Dedicatorias

*Dedicado a
mi madre María Eugenia Hernández Castro
y padre Juan Quijas Mosqueda*

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Jehová Dios y Jesucristo por brindarme la vida, la salud y la fuerza para culminar este etapa de mi vida.

A mi madre, por haber estado siempre conmigo hasta este momento, brindándome todo lo que he necesitado. Siempre creyó en mí, y en los momentos más complicados que tuve a lo largo de mi vida, estuvo conmigo. Gracias pequeño Sam.

A mi padre, por apoyarme a lo largo de mi trayectoria escolar, sus consejos y experiencias fueron muy útiles para mi formación, y ser parte de este proyecto tan importante.

A la Dra. Ana Gabriela Gallardo Hernández por brindarme su ayuda; tener una gran atención incomparable; mantenerse al tanto del proyecto, sobre avances, trámites y asesorías.

A mis sinodales, el Dr. Rafael Iriarte, por sus consejos técnicos y filosóficos muy útiles para mi vida futura. Al Dr. Marcos González y M.I. Juan Carlos Cedeño por su disposición y ayuda para la culminación de este proyecto.

A mis amigos que me apoyaron durante esta etapa de mi vida, a mi querida familia Uribe, a mis hermanos Luis Antonio Vásquez y Jesús Canales, al tío Kevin, y a todos los demás, gracias.

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de concluir mis estudios dentro de sus instalaciones.

Resumen

El siguiente trabajo presenta el diseño y la manufactura de un bastón inteligente para personas invidentes. El bastón inteligente ofrece un costo muy accesible, menor al 80 % comparado con los existentes en el mercado internacional.

El sistema es capaz de detectar objetos desde la altura de la cabeza hasta los tobillos de la persona, a una velocidad adecuada que permite evadir el obstáculo presentado. Las personas son advertidas sobre el obstáculo a evadir por medio de un sonido y vibración, los cuales son emitidos por el bastón. Las pruebas de campo corroboran la funcionalidad del bastón, y los beneficios brindados a los invidentes.

Índice general

Agradecimientos	II
Resumen	III
Lista de figuras	VII
Lista de tablas	IX
Lista de cuadros	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Justificación	2
1.3. Metodología	2
1.4. Preámbulo	3
2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL PROTOTIPO	4
2.1. Bastón blanco tradicional	4
2.2. Opciones en el mercado	5
2.3. Medidas ergonómicas del cuerpo humano	6
2.4. Diagramas geométricos del bastón	12
2.5. Desarrollo de ecuaciones matemáticas	15
3. DISEÑO DEL PROTOTIPO INTELIGENTE	18
3.1. Problemática de las calles en México	18
3.2. Análisis del transistor	19
3.2.1. Cálculo para la región de corte	19
3.2.2. Cálculo para la región de saturación	20
3.3. Antecedentes previos a las tres versiones	21
3.4. Primer prototipo	22
3.4.1. Costo del primer prototipo	24
3.5. Segundo prototipo	25
3.5.1. Costo del segundo prototipo	26
3.6. Tercer prototipo	27
3.6.1. Costo del tercer prototipo	29
3.7. Diagrama del funcionamiento del sistema	30
3.8. Diagrama del funcionamiento del sistema	31
3.9. Duración de la batería	32
3.10. Instrucciones de Uso	33

4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO	34
4.1. Fundación Pro Ciegos	34
4.2. Datos técnicos de las pruebas	36
4.2.1. Velocidad y desplazamiento	36
4.3. Pruebas experimentales	38
4.3.1. Invidente 1. Oscar	39
4.3.2. Invidente 2. Susana	40
4.3.3. Invidente 3. Rodolfo	42
4.4. Discusión	43
A. Componentes	45
A.1. Sensores Ultrasónicos	45
A.2. Mini Buzzer	46
A.3. Motores Vibradores Circulares	46
A.4. Diodo	47
A.5. Reguladores de Tensión	48
A.6. Transistor	48
A.7. Arduino Mega 2560	49
B. Enfermedades: Ceguera y pérdida de la visión	50
B.1. Cataratas	50
B.2. Glaucoma	51
B.3. Enfermedades retinales	52
B.4. Conjuntivitis	52
B.5. Sordoceguera	53
BIBLIOGRAFÍA	55

Índice de figuras

2.1. El bastón blanco para invidentes, debe llevar la punta roja	4
2.2. Bastón inteligente <i>i-Cane</i>	5
2.3. Sistema inteligente, sustituto del bastón convencional llamado <i>Eye Stick</i>	5
2.4. Diagrama de amplitud de detección central	5
2.5. Circunferencia promedio de la cabeza del hombre	8
2.6. Circunferencia promedio de la cabeza de la mujer	8
2.7. Diagrama principal [41]	12
2.8. Diagrama de análisis del sistema superior. Triángulo A	13
2.9. Diagrama del análisis del sistema central. Triángulo B	13
2.10. Diagrama de amplitud de detección superior. Vista superior	14
2.11. Diagrama de amplitud de detección central. Vista superior	14
2.12. Distancia de 0.1[m] entre el sistema superior y el sistema central	16
3.1. Banquetas en la zona metropolitana de la Ciudad de México	18
3.2. Diagrama de conexiones del transistor	19
3.3. Sistema de control	22
3.4. Mango del bastón	22
3.5. Base motorizada. Incluye dos baterías de litio y el sistema electrónico de control en su interior	22
3.6. Presentación final de la primera versión	23
3.7. Rodamientos de la segunda versión del sistema inteligente	25
3.8. <i>Shields</i> diseñados para la segunda versión	25
3.9. <i>Rueda loca</i> . Rodamiento utilizado en la versión final	27
3.10. Circuito de control final	27
3.11. Versión final de la base del sistema y del contenedor del circuito de control	28
3.12. Versión final del bastón blanco inteligente	28
3.13. Diagrama de proceso del prototipo	30
3.14. Diagrama de flujo del bastón blanco inteligente	31
3.15. Curvas características de descarga de una batería [38]	32
3.16. Vista superior de la base inferior del bastón inteligente, en la parte superior izquierda se puede apreciar el interruptor del sistema	33
4.1. Carta dirigida al Comité Internacional Pro Ciegos, IAP	35
4.2. Trayecto completo del recorrido de los tres invidentes[40]	36
4.3. Trayectoria corta para obtener datos del comportamiento de la velocidad de cada usuario[40]	37
4.4. Segunda trayectoria para adquirir los datos y comprobar si existe variación en los resultados [40]	37

4.5. Oscar y la profesora Guadalupe Franco. Ella es encargada de preparar a los alumnos invidentes	39
4.6. Caminando con el bastón inteligente sobre el pavimento de la Ciudad de México	39
4.7. Coladeras comunes en la Ciudad de México	40
4.8. Señora Susana transitando con el sistema inteligente	40
4.9. Suelo de madera	41
4.10. Librar un tronco de árbol y salir del bache de la banqueta	41
4.11. Rodolfo caminando erguido con el bastón inteligente	42
4.12. Rodolfo evadiendo la motocicleta y el globo	42
4.13. Los medidores son un peligro para las personas invidentes y para los que no lo son. La profesora comenta que algunos invidentes han sufrido algún incidente con los medidores instalados sobre las fachadas de las viviendas.	43
4.14. Rodolfo se detiene para palpar el obstáculo detectado.	43
A.1. Sensor Ultrasónico <i>SRF05</i>	45
A.2. Descripción gráfica del funcionamiento del sensor ultrasónico	46
A.3. Mini buzzer	46
A.4. Motor vibrador con diámetro 10[mm] y 3[mm] de espesor	47
A.5. Diagrama de terminales del diodo. <i>ánodo</i> (A) y <i>cátodo</i> (C)	48
A.6. Modelo encapsulado de un regulador de tensión	48
A.7. Transistor. Representación electrónica y dirección de corrientes	48
A.8. Microcontrolador Arduino Mega	49
B.1. Ojo con problemas de cataratas. Se observa la obstrucción	50
B.2. Ojo con problemas de cataratas. En la figura se observa una capa que obstruye la visión	51
B.3. Trastornos del glaucoma	51
B.4. Ojo con trastornos de conjuntivitis	53

Índice de cuadros

2.1.	Tabla de vista lateral de datos promedio del mexicano	6
2.2.	Tabla de vista frontal de datos promedio del mexicano	7
2.3.	Tabla de variables estáticas	9
2.4.	Longitudes del bastón y parámetros auxiliares del diseño	10
2.5.	Parámetros de diseño del sistema de detección superior y central	11
2.6.	Parámetros de diseño del sistema de detección superior y central	11
3.1.	Costo total de la primera versión del bastón inteligente	24
3.2.	Costo total de la segunda versión del bastón inteligente	26
3.3.	Costo total de la tercera versión del bastón inteligente	29
3.4.	Consumo máximo de corriente del prototipo. <i>Basado en el gasto de cada componente</i>	32
4.1.	Tabla de velocidades	38

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

La ceguera es la pérdida de la visión que no se puede corregir con gafas o lentes de contacto. Puede suceder de manera repentina o con el paso del tiempo. Existen dos tipos, ceguera parcial y ceguera completa. Un análisis más profundo de las causas de la ceguera se encuentra en el Apéndice B.

En el mundo existen entre 40 y 45 millones de ciegos y 135 millones de débiles visuales. Sin embargo, en el 80 % de los casos, la pérdida de visión se puede prevenir o curar, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de Prevención de la Ceguera.

El bastón convencional para ciegos es una prolongación de su cuerpo. Es una herramienta táctil, fabricada de aluminio normalmente, guía los pasos del invidente, proporcionando información sobre la superficie donde camina y ubicación, pero no información sobre algún obstáculo como medidores de luz, plumas de estacionamiento o extinguidores.

De acuerdo a estudios por el INEGI, 1 de cada 1000 habitantes son ciegos [23]; de los cuales, el 97 % de ellos son de escasos recursos económicos[1]. Esto imposibilita la adquisición de un bastón inteligente.

La construcción de un bastón blanco inteligente concreta las ideas, teorías, esfuerzos, opiniones y anhelos presentados por el autor, además de la valiosa enseñanza de cada uno de los profesores de la Facultad de Ingeniería.

La tesis está organizada de la siguiente forma:

Los obstáculos que va a poder detectar y el diseño del sistema de detección. La última parte es conocer los materiales para la estructura, sensores, actuadores y dispositivos electrónicos necesarios para construir el prototipo inteligente.

El objetivo consistió en elaborar un bastón inteligente para personas invidentes en México, con la capacidad de detectar obstáculos alrededor del cuerpo del usuario, como pueden ser medidores de luz, extinguidores, alacenas, plumas de estacionamiento, arboles, cajas de teléfonos, escalones, ramas de árboles, automóviles estacionados y ventanas.

1.1. Objetivo

Diseñar y manufacturar con dispositivos de bajo costo, un bastón inteligente para personas invidentes de escasos recursos económicos, con el cual se busca recuperar libertad de los débiles visuales.

1.2. Justificación

En el mundo existen alrededor 45 millones de invidentes y 135 millones con debilidad visual. Esta cifra la proporciona la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Organismo Internacional de Prevención de la Ceguera.

El INEGI reporta que 1 de cada 1000 habitantes son ciegos, de los cuales el 97 % de ellos son de escasos recursos económicos.

Los sistemas inteligentes para invidentes en el mercado internacional son muy costosos. En México los ciegos son incapaces de adquirir un bastón inteligente para realizar sus actividades cotidianas. Incluso, obtener un bastón convencional es complicado para un cuantioso número de ellos.

Esto crea la necesidad de desarrollar e implementar un prototipo inteligente para personas invidentes, con un costo accesible, a causa de los precios elevados de los bastones inteligentes en el mercado.

1.3. Metodología

En este apartado se expone la perspectiva metodológica que se ha adoptado, las acciones de indagación y el diseño metodológico de las diferentes fases de la investigación. Con una metodología que fue a partir de lo específico a lo general.

Las metas propuestas fueron manufacturar un bastón inteligente capaz de detectar obstáculos alrededor del cuerpo del invidente que haga uso de éste; fabricar un sistema de bajo costo capaz de poder utilizarse en casi cualquier superficie; la dimensión del bastón se tiene que diseñar con base en las medidas del bastón blanco convencional.

Durante la etapa de manufactura se destacó la importancia de mantener la menor cantidad de masa posible para brindarle al bastón ligereza. Adaptar el bastón a las necesidades básicas del bastón, como movilidad y longitud.

El diseño del bastón se efectuó durante seis meses. En ese tiempo se buscó una fundación que permitiera hacer pruebas con el prototipo. Se contactó a la fundación Pro Ciegos, y se expidió un escrito para el acceso a las instalaciones.

Las pruebas en la fundación permitieron averiguar la velocidad promedio de los usuarios con el bastón; el número de accidentes que sucedieron y los obstáculos a los que se

enfrenta este grupo de personas diariamente.

1.4. Preámbulo

El bastón blanco inteligente tuvo una serie de cambios mecánicos y electrónicos antes de presentarse la versión final, expuesta en el capítulo tres de este documento. Las pruebas realizadas con el Comité Internacional Pro Ciegos, son testimonios del éxito obtenido con el proyecto. A continuación se presenta una breve descripción del contenido de los capítulos.

El capítulo dos describe el análisis matemático del sistema, la geometría de detección de los sensores y los parámetros de detección del prototipo. Existen tres módulos de detección, cada uno tiene sus cálculos matemáticos, diagramas de construcción y rangos de detección.

El capítulo tres describe los dispositivos utilizados para la manufactura del bastón, y la función de cada componente que lo integra. Los componentes del bastón se encuentran fácilmente en el país, permitiendo conseguir algún dispositivo rápidamente en caso de presentar alguna falla.

Se detalla cada una de las tres versiones construidas del bastón inteligente, las complicaciones de cada una, las mejoras, la duración de la batería, los costos de manufactura y elementos que lo componen.

En el último capítulo se narran las pruebas con el prototipo. Los invidentes que hicieron uso del bastón, son alumnos de la fundación Pro Ciegos. La muestra fue pequeña, pero suficiente para obtener conclusiones y plantear modificaciones posteriores.

Capítulo 2

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL PROTOTIPO

2.1. Bastón blanco tradicional

El bastón blanco para ciegos es una prolongación de su cuerpo. Esta herramienta táctil, fabricada de aluminio normalmente, guía los pasos del invidente, proporcionando información sobre la superficie donde camina y ubicación, ver Figura 2.1. Su longitud es dos terceras partes de la altura del invidente ¹.

No obstante, el uso del bastón blanco no previene al invidente de obstáculos periféricos a su cabeza y resto del cuerpo. Esto implica adaptar un sistema inteligente al bastón habitual, mediante estudios ergonómicos y matemáticos.

La ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona [20]. Su misión es la siguiente:

- Investigar, identificar y brindar solución a cada problemática o riesgo laboral
- Adaptación de las condiciones de trabajo al usuario
- Se encarga de aspectos socio-organizativos para brindar salud, confort, satisfacción y eficacia.



Figura 2.1: El bastón blanco para invidentes, debe llevar la punta roja

¹Esta medida fue extraída directamente de la fundación Pro-Ciegos.

2.2. Opciones en el mercado

i-Cane. Es un bastón blanco inteligente que cuenta con ubicación GPS para la comunidad Europea y ubicaciones del usuario. El costo del i-Cane es de €1,750 (en moneda nacional \$ 30,000) [31]. El modelo del bastón se puede apreciar en la Figura 2.2 ².



Figura 2.2: Bastón inteligente *i-Cane*

Eye Stick. Utiliza ondas ultrasónicas para medir de manera fiable la distancia, no afectado por la lluvia, la niebla, u otros problemas climáticos. El sistema ultrasónico proporciona información sobre los peligros tales como las barreras y los cambios en el nivel del suelo, detectando con antelación.

Por otra parte, el sistema proyecta una luz que evita colisiones con otros peatones. Comunicándose con el invidente, vía Bluetooth, mediante un dispositivo auricular [25]. Ver Figura 2.3.

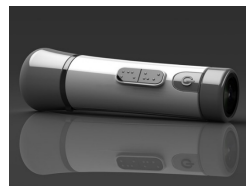


Figura 2.3: Sistema inteligente, sustituto del bastón convencional llamado *Eye Stick*

Munivo. En la Figura 2.4 se muestra al sistema llamado Munivo. Es un dispositivo muy compacto, se coloca en la palma de la mano, incluye un GPS, y tiene una amplia gama de detección de obstáculos por medio de sensores ultrasónicos [26].



Figura 2.4: Diagrama de amplitud de detección central

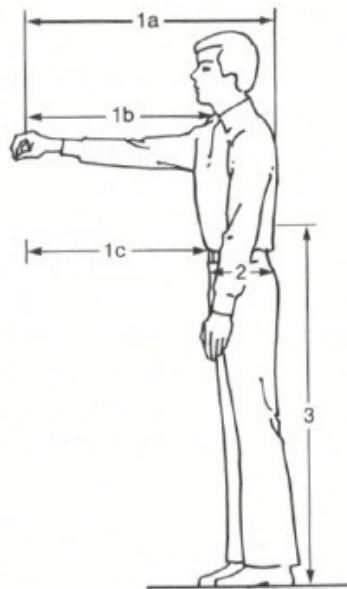
Los costos son altos para las condiciones de este grupo de personas en México, por esta razón se diseñó y manufacturó un prototipo de bajo costo capaz de competir con los sistemas mencionados anteriormente, y así introducir un dispositivo accesible para la mayor parte de la población invidente en el país.

²Precios consultados en Mayo de 2014.

2.3. Medidas ergonómicas del cuerpo humano

Existen tablas de la ergonomía geométrica del cuerpo humano. Ver Cuadro 2.1 y Cuadro 2.2

Datos Antropométricos de México



Medición, en centímetros	Población Percentiles, Varones			Población Percentiles, Mujeres			Población Percentiles, 75/25 Varones/Mujeres		
	5 th	50 th	95 th	5 th	50 th	95 th	5 th	50 th	95 th
de Pie									
1. Alcances hacia adelante									
a. Alcance máximo de presión fina	73	80	88	66	74	83	70	79	88
a. Alcance de presión de fuerza	67	74	81	62	68	75	63	73	81
Dedo medio, acromion (punto del dedo)	70	77	84	65	69	75			
Espalda Dedo Medio	78	87	92	69	78	82			
3. Cintura, Piso	92	99	107	89	97	106			
3. Altura a la Cintura	99	105	112	93	100	108	97	103	111

Cuadro 2.1: Tabla de vista lateral de datos promedio del mexicano

Datos Antropométricos de México



Medición, en centímetros	Población Percentiles, Varones			Población Percentiles, Mujeres			Población Percentiles, 75/25 Varones/Mujeres		
	5 th	50 th	95 th	5 th	50 th	95 th	5 th	50 th	95 th
4. Rodilla Piso	44	50	56	41	46	49			
5. Muñeca Piso	78	85	91	72	77	84			
6. Codo Piso	101	109	117	94 91	97 97	107 104	100	109	118
7. Hombro Piso (Acromion)	133	142	153	124 122	128 129	140 137	127	137	150
8. Ojo Piso	150	160	171	141 137	145 145	156 153	145	160	172
9. Estatura	160	171	183	151 148	155 157	170 165	157	172	183
10. Alcance máximo vertical	189	203	221	172	189	207	172	203	221

Cuadro 2.2: Tabla de vista frontal de datos promedio del mexicano

Los cálculos que se van a mostrar en este capítulo, están ligados a los parámetros establecidos sobre la distancia que debe existir entre el extremo inferior del bastón que porta un ciego y la punta del pie de él.

El bastón inteligente tiene tres módulos para detectar obstáculos alrededor del invidente, éstos son:

- *Superior.* Obstáculos en torno a la cabeza del invidente como extinguidores, medidores de luz, ramas de árboles, cajas de teléfono, anuncios publicitarios y alacenas.
- *Central.* Óbices entre el estómago y las rodillas del usuario como plumas de estacionamiento, sillones, sillas, mesas, automóviles estacionados, rejas, botes de basura y

torniquetes.

- *Inferior*. Obstrucción en la parte de los pies del invidente como banquetas, escaleras y escalones.

La circunferencia de la cabeza del adulto promedio va de 55[cm] a 63[cm], de acuerdo a un estudio en el Reino Unido [36]. Ver la Figura 2.5 y la Figura 2.6.

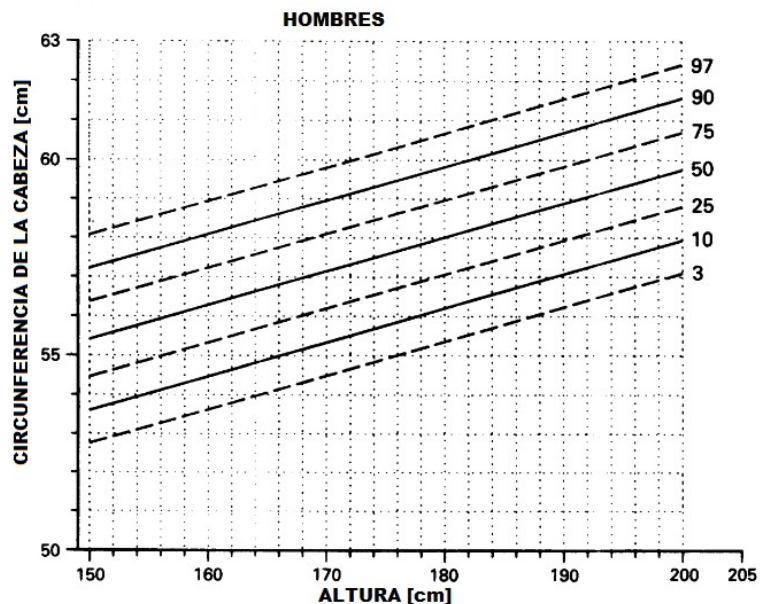


Figura 2.5: Circunferencia promedio de la cabeza del hombre

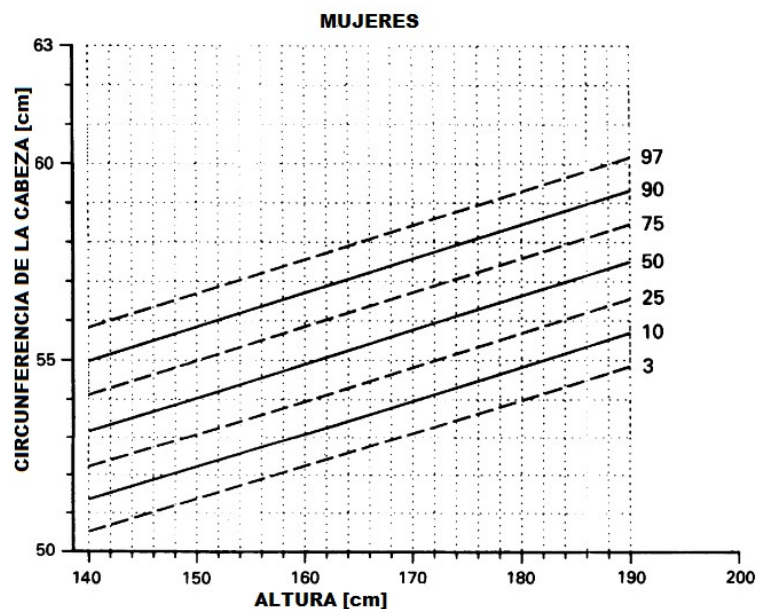


Figura 2.6: Circunferencia promedio de la cabeza de la mujer

El Cuadro 2.3 describe la distancias que existen alrededor del invidente, los alcances de sensores y proyecciones. Estas medidas se tomaron al usuario en estado de reposo.

Variable	Unidad	Descripción
$h_{paciente}$	[m]	Altura del invidente.
d_{baston}	[m]	Longitud del bastón. Dos terceras partes de la altura del invidente. <i>Datos extraídos de la fundación Pro Ciegos.</i>
$d_{piebase}$	[m]	Distancia establecida entre la punta inferior del bastón y el pie del invidente.
d_{sens_H}	[m]	Distancia de los sensores ultrasónicos medida con respecto del suelo, en la cual se colocaron los sensores para detectar obstáculos a la altura de la cabeza.
d_{bast_H}	[m]	Distancia que existe entre los sensores ultrasónicos encargados de detectar obstáculos sobre la cabeza y la base del bastón, la cual se encuentra en el extremo inferior del bastón.
$d_{piebase_H}$	[m]	Distancia que existe al proyectar sobre el suelo la ubicación de los sensores ultrasónicos encargados de detectar objetos a la altura de la cabeza.
d_{sens_W}	[m]	Distancia de los sensores ultrasónicos medida con respecto del suelo, en la cual se colocaron los sensores para detectar obstáculos a la altura de la cintura.
d_{bast_W}	[m]	Distancia que existe entre los sensores ultrasónicos encargados de detectar obstáculos a la altura de la cintura y el ancho del cuerpo del usuario y la base del bastón, la cual se encuentra en el extremo inferior del bastón.
$d_{piebase_W}$	[m]	Distancia que existe al proyectar sobre el suelo la ubicación de los sensores ultrasónicos encargados de detectar objetos ubicados entre la cintura y rodillas.
d_{ultra_H}	[m]	Distancia máxima de detección de los sensores ultrasónicos para detectar obstáculos sobre la cabeza.
d_{rango_1}	[m]	Distancia proyectada relacionada con la altura del usuario. Cateto del triángulo de cabeza principal.
d_{rango_2}	[m]	Distancia paralela al usuario relacionada con el alcance máximo de lectura del arreglo de sensores ultrasónicos encargados de detectar obstáculos centrales.
x_H	[m]	Cateto opuesto al ángulo β_2 del triángulo auxiliar del recorrido del invidente.
y_H	[m]	Recorrido total de detección de obstáculos a la altura de la cabeza.
a_W	[m]	Cateto opuesto al ángulo ω_W del triángulo auxiliar del recorrido del invidente.
b_W	[m]	Segmento del recorrido del sistema de detección de obstáculos a la altura de la cintura a rodillas y del ancho del cuerpo del usuario.

Cuadro 2.3: Tabla de variables estáticas

Los ángulos del Cuadro 2.4 son para analizar el sistema de detección total en tres partes diferentes, mediante proyecciones del bastón con el usuario y su entorno.

Variable	Unidad	Descripción
θ_b	[Grad]	Ángulo formado entre el bastón y el suelo.
β_1	[Grad]	Ángulo formado entre el segmento del bastón d_{bast_H} y la proyección paralela del segmento de suelo $d_{piebase_H}$.
β_2	[Grad]	Ángulo formado entre la proyección del segmento del bastón d_{bast_H} y la longitud de onda ultrasónica máxima emitida por el sensor ultrasónico.
γ	[Grad]	Ángulo formado entre la proyección sobre el eje paralelo al suelo y la distancia de los sensores ultrasónicos encargados de detectar objetos a la altura de la cintura hasta la longitud de onda ultrasónica máxima emitida por el sensor ultrasónico.

Cuadro 2.4: Longitudes del bastón y parámetros auxiliares del diseño

La distancia d_{ultra_H} se toma como lectura de un sólo sensor ultrasónico. Para el análisis superior y central se consideró detectar obstáculos como el ancho de la persona, el diámetro de la cabeza y la abertura de pasillos.

Para el sistema superior y central se aislaron los sensores ultrasónicos, y se examinó su comportamiento por superposición. Y así obtener los datos del Cuadro 2.5.

Variable	Unidad	Descripción
d_{sensor_H}	[m]	Distancia donde el sensor ultrasónico derecha está ubicado en la caja del sistema de detección superior
$d_{sensorizq_H}$	[m]	Distancia donde el sensor ultrasónico izquierdo está ubicado en la caja del sistema de detección superior
$d_{ultrader_H}$	[m]	Distancia máxima de detección del sensor ultrasónico desde sistema de detección al obstáculo sobre la cabeza.
$d_{ultraizq_H}$	[m]	Distancia máxima de detección del sensor ultrasónico desde sistema de detección al obstáculo sobre la cabeza.
$d_{carabast}$	[m]	Rango de detección de obstáculos sobre el rostro. Dato adquirido de la base de datos de la ergonimía del cuerpo humano [20].
d_{senser_W}	[m]	Distancia máxima de detección del sensor ultrasónico desde el dispositivo al obstáculo sobre la cintura.
$d_{sensizq_W}$	[m]	Distancia máxima de detección del sensor ultrasónico desde el dispositivo al obstáculo sobre la cintura.
$d_{rangocentral_W}$	[m]	Ancho del cuerpo humano de hombro a hombro. Dato extraído de la base de datos de la ergonomía del cuerpo humano.
$d_{sensposder_W}$	[m]	Longitud lateral de la onda ultrasónica derecha.
$d_{sensposizq_W}$	[m]	Longitud lateral de la onda ultrasónica izquierda.
d_{sep}	[m]	Separación máxima entre onda ultrasónicas.

Cuadro 2.5: Parámetros de diseño del sistema de detección superior y central

Se elaboró una tabla de ángulos auxiliares para relacionar el módulo superior con el central. Ver Cuadro 2.6

Variable	Unidad	Descripción
θ_K	[Grad]	Ángulo formado entre $d_{ultraizq_H}$ y $d_{ultrader_H}$.
ϕ_K	[Grad]	Ángulo formado entre d_{senser_W} y $d_{sensizq_W}$.

Cuadro 2.6: Parámetros de diseño del sistema de detección superior y central

2.4. Diagramas geométricos del bastón

Los diagramas presentados a continuación muestran como se obtuvo el diseño del bastón mediante 5 diagramas principales. En las Figuras 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 y 2.11. Al conjuntar todos los diagramas y análisis matemáticos se obtiene como resultado el sistema central y superior de detección. Las medidas de las Figuras 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 están dadas en milímetros.

Los triángulos A, B, C de la Figura 2.7 poseen una área sombreada que representa el rango de detección de los sensores.

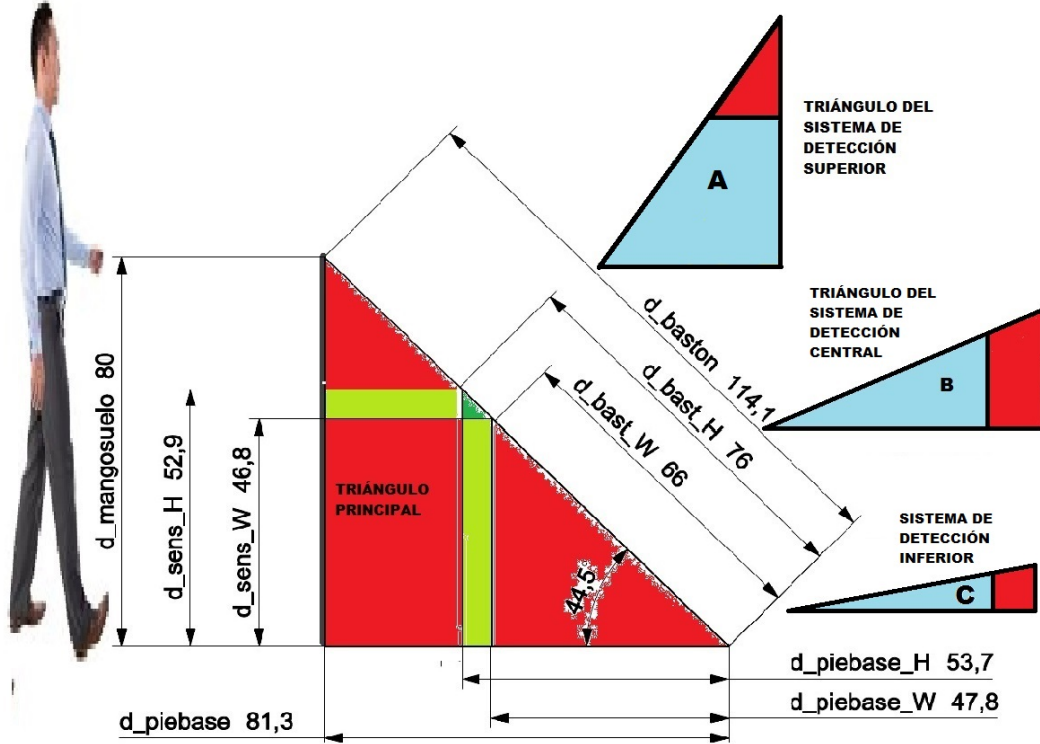


Figura 2.7: Diagrama principal [41]

En la Figura 2.7, el sistema está proyectado por medio de cuatro triángulos. El triángulo principal está compuesto por el triángulo más grande. Con los catetos:

$$d_{mangosuelo}, d_{baston}, d_{piebase} \quad (2.1)$$

El triángulo auxiliar cabeza, es el triángulo que se utilizará para el análisis del sistema superior. El triángulo auxiliar cintura, es el triángulo que se utilizará para el análisis del sistema central.

$$d_{mangosuelo}^2 + d_{piebase}^2 = d_{baston}^2 \quad (2.2)$$

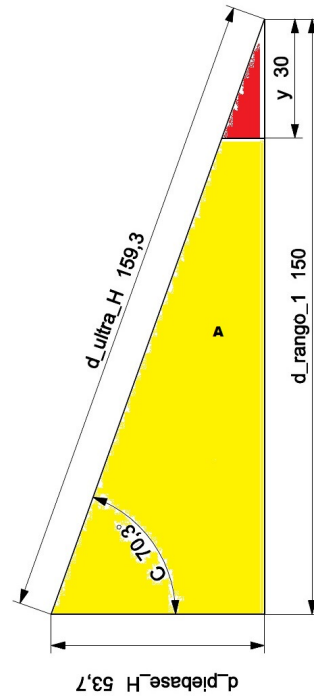


Figura 2.8: Diagrama de análisis del sistema superior. Triángulo A

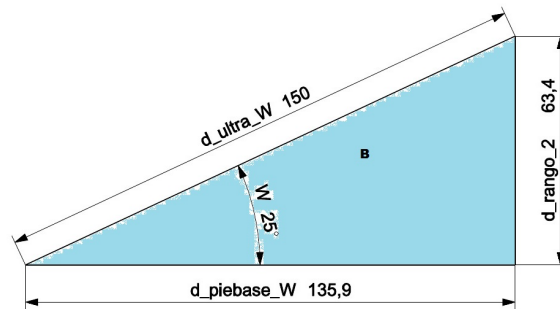


Figura 2.9: Diagrama del análisis del sistema central. Triángulo B

$$d_{sens_H}^2 + d_{piebase_H}^2 = d_{bast_H}^2 \quad (2.3)$$

$$d_{sens_W}^2 + d_{piebase_W}^2 = d_{bast_W}^2 \quad (2.4)$$

Es necesario separar el triángulo de la Figura 2.8 del triángulo principal para poder efectuar el análisis de la detección del obstáculo superior.

Y es la medida promedio de la cabeza del ser humano, esta distancia está registrada en el microcontrolador para detectar obstáculos dentro del de 130[cm] a 160[cm].

El triángulo B de la Figura 2.9 representa la longitud del sensor ultrasónico a detectar; la distancia entre el sistema central de detección y el obstáculo.

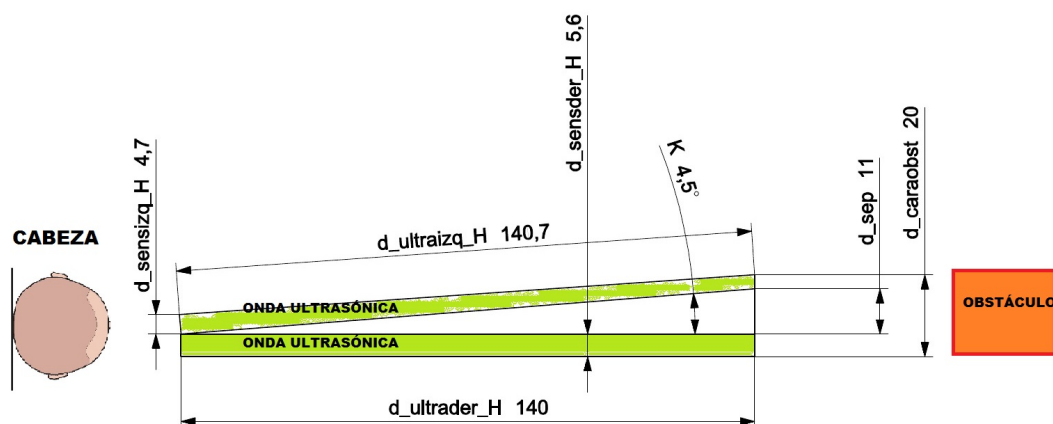


Figura 2.10: Diagrama de amplitud de detección superior. Vista superior

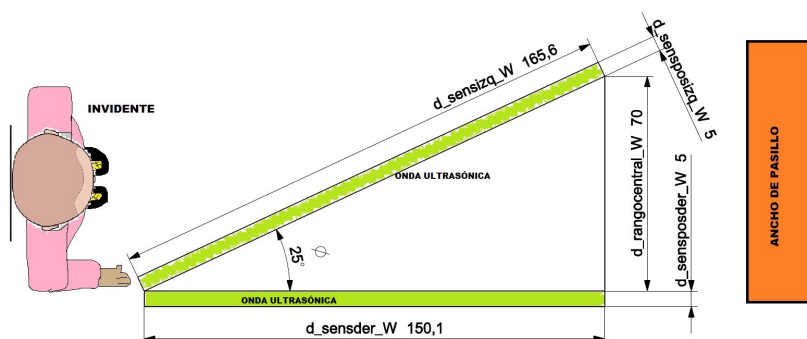


Figura 2.11: Diagrama de amplitud de detección central. Vista superior

El análisis mostrado en la Figura 2.10 tiene como parámetro el ancho de la cabeza humana.

La Figura 2.11 muestra el sistema de detección central, desde la parte superior. El sistema central presenta un ángulo de apertura, el cual depende del ancho del cuerpo humano. El diagrama exhibe si existe espacio suficiente para que el invidente pueda transitar donde camina.

2.5. Desarrollo de ecuaciones matemáticas

La velocidad de desplazamiento de un invidente es de $1 \frac{[m]}{[s]}$ según la *Guía de movilidad peatonal*[2].

Los semáforos con sonido alertan a los invidentes acerca del tiempo para cruzar la calle, emitiendo un sonido cada segundo, cuando el tiempo para atravesar la acera está a punto de culminar, las pausas entre cada emisión de sonido disminuyen, lo que hace que el enfermo visual sepa que queda un corto espacio de tiempo. Esto fue diseñado para personas de edad avanzada e invidentes.

Para el análisis se elaboraron tres triángulos dependientes de la altura del bastón y la altura del invidente. Se plantearon tres sistemas de detección de objetos.

El primer sistema consiste en detectar obstáculos a la altura de la cabeza como extinguidores, medidores de luz, alacenas, ramas de árboles, anuncios publicitarios.

El segundo sistema de detección consiste en detectar objetos desde la altura de cintura hasta las rodillas, y objetos frontales sobre las espinillas. Este sistema puede detectar sillas, mesas, sillones, escalones, automóviles estacionados, botes de basura, ancho de pasillos, puertas de cristal, rejas.

Las dos ecuaciones principales que determinan la distancia adecuada para colocar los sensores ultrasónicos son las siguientes.

Sistema Superior. La ecuación para determinar la distancia óptima para colocar el sistema sensores de detección superior.

$$d_{bast_H} = \frac{2}{3} h_{paciente} \quad (2.5)$$

$$d_{bast_H} = d_{baston} - \frac{1}{3} \cdot d_{baston} \quad (2.6)$$

Para la ecuación 2.7 es necesario agregar $0.1[m]$ del diseño del espacio entre el sistema de detección superior y el central. Ver Figura 2.12.

Sistema Central. La ecuación para determinar la distancia óptima para colocar el sistema de sensores de detección central es:

$$d_{bast_W} = d_{baston} - \frac{1}{3} \cdot d_{baston} - 0.10 \quad (2.7)$$

Algunas de las variables que aparecen en los Cuadros 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se calcularon de la siguiente forma:

$$d_{sens_H} = d_{bast_H} \cdot \sin \theta_b \quad (2.8)$$

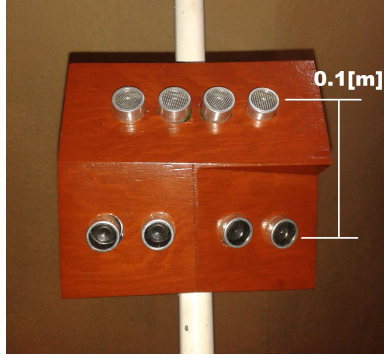


Figura 2.12: Distancia de 0.1[m] entre el sistema superior y el sistema central

$$d_{sens_H} = 0.76 \cdot \sin 45^\circ \quad (2.9)$$

$$d_{sens_H} = 0.5374[m] \quad (2.10)$$

Para la distancia de los sensores ultrasónicos del sistema superior se puede proyectar sobre el eje donde el usuario transita. Esta longitud tiene el nombre de $d_{piebase_H}$. Se encuentra con la función $\cos \theta_b$. El ángulo θ_b puede relacionar el eje de tránsito del usuario y la distancia de los sensores ultrasónicos a la base del bastón, es decir, d_{bast_H} .

$$d_{piebase_H} = d_{bast_H} \cdot \cos \theta_2 \quad (2.11)$$

$$d_{piebase_H} = 0.76 \cdot \cos 45^\circ \quad (2.12)$$

$$d_{piebase_H} = 0.5374[m] \quad (2.13)$$

El rango es esencial para la programación de los sensores. Por esta razón se presentan las proyecciones geométricas, y así determinar las proyecciones.

El ángulo β_2 formado entre la proyección de $d_{piebase_H}$ y d_{ultra_H} . β_2 es un ángulo conocido, el cual se forma entre la señal ultrasónica emitida y el eje de tránsito del invidente.

$$\cos \beta_2 = \frac{d_{piebase_H}}{d_{ultra_H}} \quad (2.14)$$

Despejando d_{ultra_H} de la ecuación (2.14), se obtiene,

$$d_{ultra_H} = \frac{d_{piebase_H}}{\cos \beta_2} \quad (2.15)$$

$$d_{ultra_H} = \frac{53.74}{\cos 70^\circ} \quad (2.16)$$

$$d_{ultra_H} = 157.125[m] \quad (2.17)$$

$$\tan \beta_2 = \frac{d_{rango_1}}{d_{piebase_H}} \quad (2.18)$$

$$d_{rango_1} = d_{piebase_H} \cdot \tan \beta_2 \quad (2.19)$$

$$d_{rango_1} = 0.5374 \cdot \tan 70^\circ \quad (2.20)$$

$$d_{rango_1} = 1.4764[m] \quad (2.21)$$

La rapidez de detección del sistema inferior está en función de la velocidad de desplazamiento del invidente, porque la onda ultrasónica del sensor del sistema inferior es enviada de manera paralela al eje de tránsito del usuario del bastón.

Capítulo 3

DISEÑO DEL PROTOTIPO INTELIGENTE

3.1. Problemática de las calles en México

El diseño del prototipo inteligente es para personas invidentes en el país. Las medidas del bastón fueron obtenidas con base en la estatura de los ciudadanos mexicanos.

El bajo costo del sistema brinda una oportunidad a los invidentes de obtener un ejemplar. La calidad es esencial, por ello se utilizaron materiales de alta calidad. Esto le brinda al bastón confiabilidad, durabilidad y excelente presentación.

En la mayor parte de la República Mexicana las calles y avenidas se encuentran deterioradas como se puede apreciar en la Figura 3.1. Por esta razón se elaboró un prototipo capaz de superar cualquier adversidad presentada en el trayecto del invidente.



Figura 3.1: Banquetas en la zona metropolitana de la Ciudad de México

3.2. Análisis del transistor

Para el análisis de las resistencias del transistor se elaboraron los cálculos mostrados a continuación. El dispositivo trabaja en corte y saturación. El diagrama de la Figura 3.2 muestra las conexiones correspondientes.

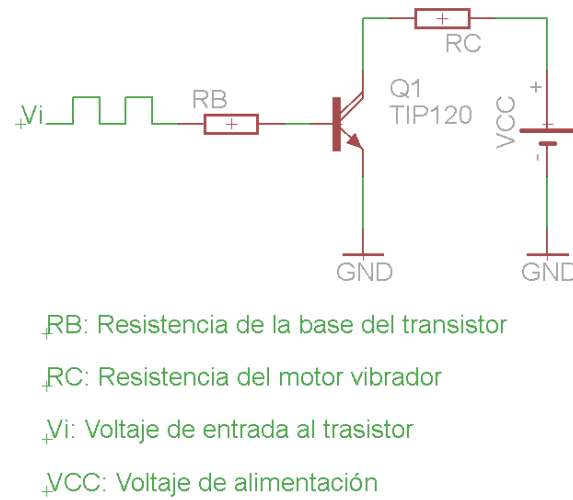


Figura 3.2: Diagrama de conexiones del transistor

Se parte en dos ecuaciones básicas:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.1)$$

$$I_C = \beta I_B \quad (3.2)$$

Para encontrar los valores de cada resistencia, se deben de analizar los dos estados que el transistor trabaja.

3.2.1. Cálculo para la región de corte

El transistor funciona como circuito abierto.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.3)$$

Dado que,

$$I_C = 0[A] \quad (3.4)$$

Se tiene la siguiente igualdad,

$$V_{CE} = V_{CC} \quad (3.5)$$

Como el circuito se está alimentando con 5[V], se concluye que,

$$V_{CE} = 5[V] \quad (3.6)$$

3.2.2. Cálculo para la región de saturación

El transistor funciona como circuito cerrado.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.7)$$

Como:

$$V_{CE} = 0[V] \quad (3.8)$$

$$V_{CE} = I_C R_C \quad (3.9)$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (3.10)$$

$$I_C = \frac{5[V]}{75[\Omega]} \quad (3.11)$$

$$I_C = 0.06[mA] \quad (3.12)$$

Cálculo de la resistencia de la base

Para calcular la corriente de la base se utilizará la ecuación 3.2 y 3.12,

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (3.13)$$

$$I_B = \frac{60[mA]}{1000} \quad (3.14)$$

Se multiplica la corriente de la base por cinco, al valor obtenido teóricamente, para evitar que la temperatura o el material afecte el resultado esperado. Entonces el resultado final es:

$$I_B = 0.3[mA] \quad (3.15)$$

Con el valor de la corriente de la base, se puede calcular el valor de la resistencia de la base.

$$I_B R_B = V_i - V_{DIO DO} \quad (3.16)$$

$$R_B = \frac{V_i - V_{DIO DO}}{I_B} \quad (3.17)$$

$$R_B = \frac{5[V] - 0.7[V]}{0.3[mA]} \quad (3.18)$$

$$R_B = 14.3[K\Omega] \quad (3.19)$$

No es posible adquirir una resistencia del valor obtenido, por lo que se aproxima a un valor comercial. Se utilizó una resistencia de $15[K\Omega]$. El porcentaje de variación entre el valor real y el calculado es el siguiente:

$$\%Res_{real} = \left| \left| \frac{ValorReal - ValorPropuesto}{ValorReal} \right| \right| \times 100 \quad (3.20)$$

$$\%Res_{real} = \left| \left| \frac{14.3[K\Omega] - 15[K\Omega]}{14.3[K\Omega]} \right| \right| \times 100 \quad (3.21)$$

$$\%Res_{real} = 4.88 \% \quad (3.22)$$

El valor de la Ecuación 3.22 muestra el porcentaje de variación entre el valor calculado y el utilizado. Un 4.88 % no afecta al funcionamiento del transistor.

3.3. Antecedentes previos a las tres versiones

Se fabricaron tres versiones para el bastón. La primera versión del sistema inteligente tenía rodamientos omnidireccionales que causaban que las vibraciones emitidas por el prototipo no se percibieran por el usuario. La modificación para la segunda versión fue cambiar rodamientos omnidireccionales por unos lisos.

No obstante, el sistema continuaba siendo muy robusto y pesado, lo que orilló a fabricar una tercera versión. El prototipo final posee una rueda loca, sustituyendo los rodamientos lisos por una rueda loca, se modificó la electrónica y se redujo el consumo de energía en un 50 %.

3.4. Primer prototipo

El sistema tiene una base motorizada, dos motores reductores en la base, dos motores vibradores, dos rodamientos omnidireccionales, dos baterías de litio, cinco sensores ultrasónicos y un joystick analógico.

El sistema funciona mediante dos microcontroladores y un circuito impreso diseñado para el bastón. Ver la Figura 3.3.

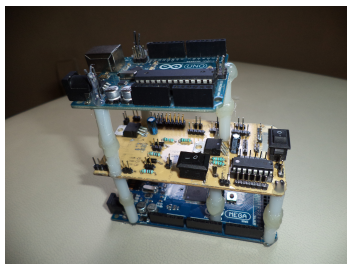


Figura 3.3: Sistema de control

El mango del sistema es hueco. En su interior contiene los motores vibradores, un buzzer y el joystick. Ver Figura 3.4.



Figura 3.4: Mango del bastón

El sistema de control se divide en dos secciones. La primera controla los sensores ultrasónicos y los motores vibradores. La segunda controla el joystick y los motores reductores. Ver la Figura 3.5.

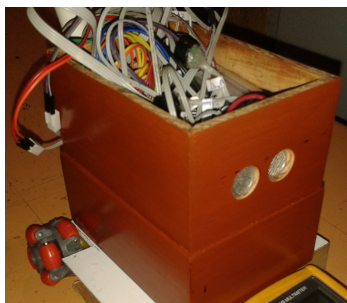


Figura 3.5: Base motorizada. Incluye dos baterías de litio y el sistema electrónico de control en su interior

Los sensores ultrasónicos están en un contenedor construido para detectar los obstáculos, y ubicado a una tercera parte de la longitud total del bastón. La versión final del primer bastón se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6: Presentación final de la primera versión

3.4.1. Costo del primer prototipo

Los costos de manufactura del bastón se muestran a continuación en la siguiente tabla. Los costos están dados en pesos mexicanos ¹.

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Mango	1	200	200
Base Inferior de Madera	1	300	300
Base Sensores Ultrasónicos	1	500	500
Estructura Metálica	1	100	100
Joystick	1	50	50
Motores Vibradores	2	50	100
Motorreductores	2	40	80
Rodamientos Onmidireccionales	2	75	150
Buzzer	3	5	15
Batería de Litio	2	190	380
Arduino MEGA	1	920	920
Arduino UNO	1	380	380
Placas Fenólicas	2	10	20
Circuito Integrado L293D	1	45	45
Transistor TIP 120	2	8	16
Zócalos	1	2	2
Regulador de Voltaje LM7805	2	10	20
Resistencias	6	0.50	3
Jumpers	30	1.50	45
Cable Plano	-	34	34
Molex Hembra	13	3-5	50
Diodos	4	1	4
Capacitores	2	2	4
Rueda Loca 1/2	2	30	60
Sensores Ultrasónicos SRF05	3	380	1140
Sensores Ultrasónicos HC-SR04	2	120	240
Espaciadores	10	2.50	25
Gastos de Manufactura	-	-	500
COSTO TOTAL			\$5383

Cuadro 3.1: Costo total de la primera versión del bastón inteligente

¹Precios consultados en Mayo de 2014

3.5. Segundo prototipo

Los rodamientos omnidireccionales, al momento de rotar, introducían vibraciones innecesarias al bastón. Esto no permitía al invidente percatarse si la vibración provenía de la detección de un obstáculo.

La gran cantidad de conectores podía ser sustituida por *shields* diseñados específicamente para cada microcontrolador², con el propósito de reducir tamaño y probabilidad de corto circuito.

- Se modificaron los rodamientos omnidireccionales por unos simples como los mostrados en la Figura 3.7.
- Se optoacopló la salida del microcontrolador y la entrada a la etapa de potencia de la base motorizada. Eliminando disparos en falso del buzzer.
- Se separaron las tierras de potencia de las de la electrónica.
- Se fabricaron *shields* para ambos microcontroladores . Ver Figura 3.8.



Figura 3.7: Rodamientos de la segunda versión del sistema inteligente

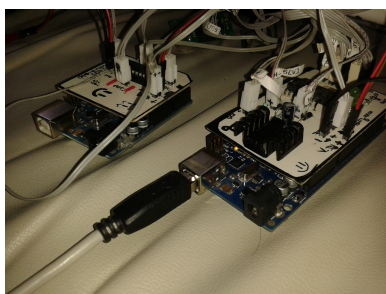


Figura 3.8: *Shields* diseñados para la segunda versión

²Un shield es una placa impresa que se pueden conectar en la parte superior de la placa Arduino para ampliar sus capacidades, pudiendo ser apilada una encima de la otra.

3.5.1. Costo del segundo prototipo

La siguiente tabla muestra los costos de manufactura del bastón. Los costos están dados en pesos mexicanos³.

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Mango	1	200	200
Base Inferior de Madera	1	300	300
Base Sensores Ultrasónicos	1	500	500
Estructura Metálica	1	100	100
Joystick	1	50	50
Motores Vibradores	2	50	100
Motorreductores	2	40	80
Rodamientos	2	40	80
Buzzer	3	5	15
Batería de Litio	2	190	380
Arduino MEGA	1	920	920
Arduino UNO	1	380	380
Placas Fenólicas	2	10	20
Circuito Integrado L293D	1	45	45
Transistor TIP 120	2	8	16
Zócalos	1	2	2
Regulador de Voltaje LM7805	2	10	20
Resistencias	6	0.50	3
Jumpers	2	1.50	3
Cable Plano	-	34	34
Molex Hembra	13	3-5	50
Diodos	4	1	4
Capacitores	2	2	4
Rueda Loca 3/4	2	45	90
Sensores Ultrasónicos SRF05	3	380	1140
Sensores Ultrasónicos HC-SR04	2	120	240
Gastos de Manufactura	-	-	500
COSTO TOTAL			\$5276

Cuadro 3.2: Costo total de la segunda versión del bastón inteligente

³Precios consultados en Mayo de 2014

3.6. Tercer prototipo

El sistema cuenta con la misma cantidad de sensores ultrasónicos y actuadores. Sin embargo, la base motorizada se sustituyó por una rueda loca, como se aprecia en la Figura 3.9. Permite al sistema transitar en cualquier superficie.



Figura 3.9: *Rueda loca*. Rodamiento utilizado en la versión final

Se redujo a uno el número de microcontroladores y de baterías. Haciendo al bastón más económico, más compacto, ligero, estético y minimizando los gastos de energía. Se fabricó un último *shield* para el Arduino. Ver la Figura 3.10.

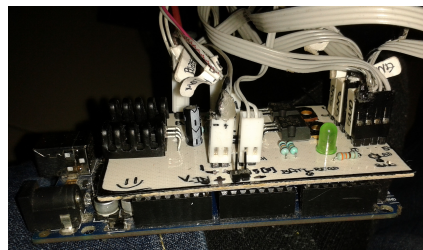


Figura 3.10: Circuito de control final

Se construyó un contenedor muy pequeño para alojar al circuito electrónico controlador. Ver Figura 3.11. Esto brindó al bastón una mejor presentación y levedad.

La batería se cambió de lugar y se introdujo en el módulo de los sensores ultrasónicos, aprovechando el espacio existente.



Figura 3.11: Versión final de la base del sistema y del contenedor del circuito de control

La versión final del bastón inteligente se muestra en la Figura 3.12.



Figura 3.12: Versión final del bastón blanco inteligente

3.6.1. Costo del tercer prototipo

Se redujo el costo en un 30 % comparado con las versiones anteriores. Los precios están dados en pesos mexicanos ⁴.

Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Mango	1	200	200
Base Sensores Ultrasónicos	1	500	500
Estructura Metálica	1	100	100
Motores Vibradores	2	50	100
Buzzer	2	5	10
Batería de Litio	1	190	190
Arduino MEGA	1	920	920
Placas Fenólicas	1	10	10
Transistor TIP 120	2	8	16
Regulador de Voltaje LM7805	1	10	10
Resistencias	4	0.50	2
Cable Plano	-	34	34
Molex Hembra	14	3-5	50
Diodos	2	1	2
Capacitores	1	2	2
Disipador	1	10	10
Apagador	2	10	20
Sensores Ultrasónicos SRF05	3	380	1140
Sensores Ultrasónicos HC-SR04	2	120	240
Gastos de Manufactura	-	-	300
COSTO TOTAL			\$3756

Cuadro 3.3: Costo total de la tercera versión del bastón inteligente

⁴Precios consultados en Mayo de 2014

3.7. Diagrama del funcionamiento del sistema

El esquemático del circuito de control se muestra a continuación en la Figura 3.13.

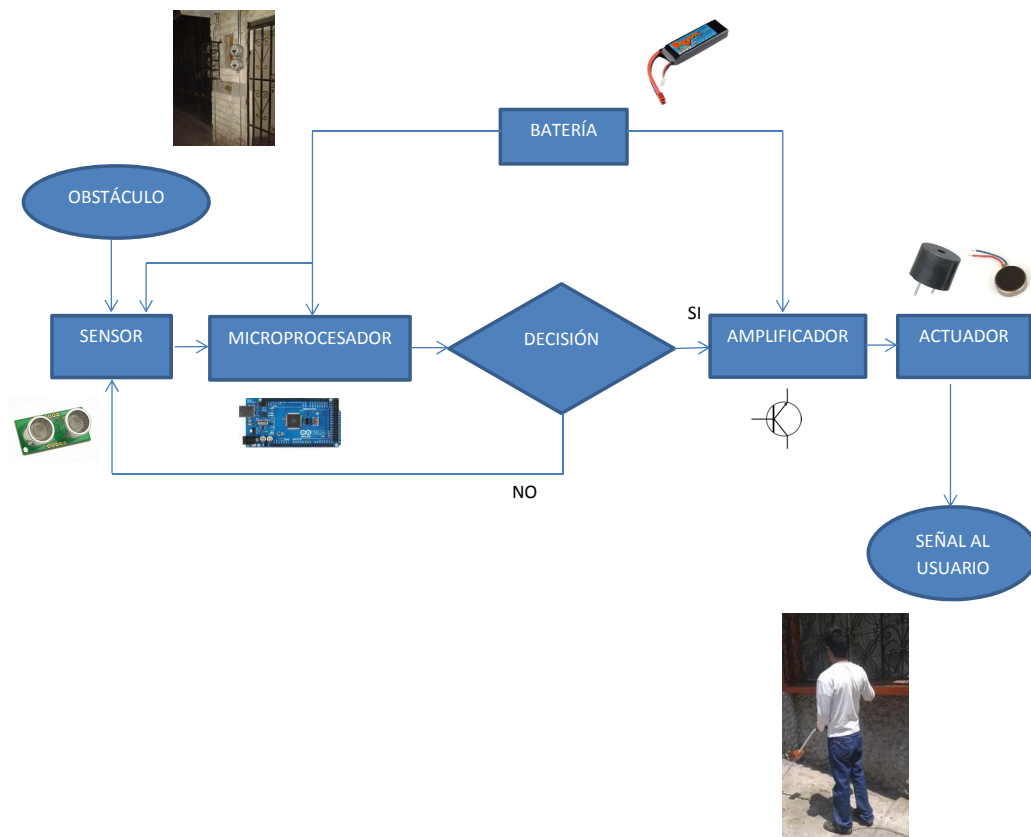


Figura 3.13: Diagrama de proceso del prototipo

3.8. Diagrama del funcionamiento del sistema

El esquemático del circuito de control se muestra a continuación en la Figura 3.14.

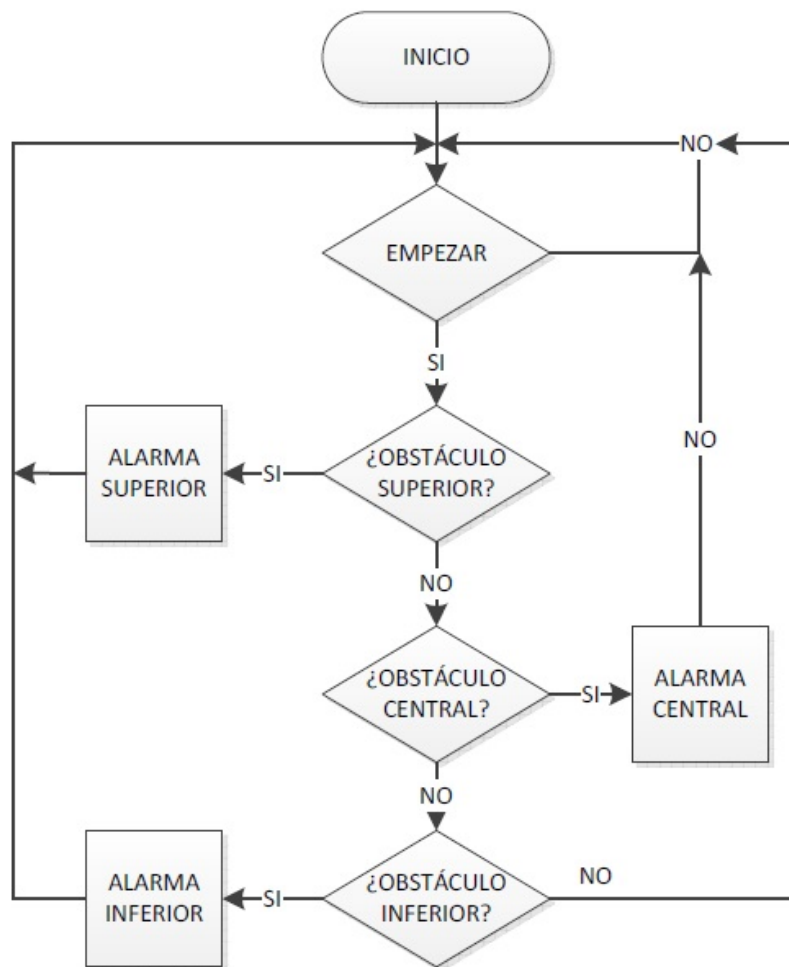


Figura 3.14: Diagrama de flujo del bastón blanco inteligente

3.9. Duración de la batería

La duración de las baterías es la cantidad de electricidad contenida en ella, la cual se aprovecha para entregar la corriente a una carga durante un tiempo determinado. Se simboliza con la letra C [38].

La cantidad de amperios hora de una batería viene indicada en ella. El fabricante proporciona un dato, nC , donde:

- n . es el número de horas.
- C . es la capacidad máxima de la batería.

La Figura 3.15 indica el tiempo de duración de la batería. A mayor suministro de corriente, descarga más próxima.

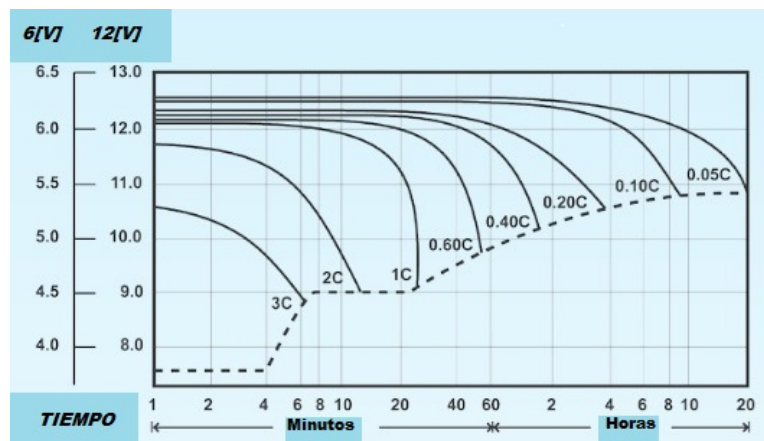


Figura 3.15: Curvas características de descarga de una batería [38]

La batería del sistema es de 7.4[V] a 2200[mAh]. Tiene una capacidad de $30C$ y proporciona al bastón inteligente 6.50[Hrs] de energía con carga máxima del sistema. Ver Cuadro 3.4.

Elementos	Cantidad	Gasto[mA]	Subtotal[mA]
Sensores Ultrasónicos	5	30	150
Motores Vibradores	2	60	120
Arduino Mega	1	40	40
Transistor TIP 120	2	12	24
Buzzer	2	1	1
Resistencias	4	0.1	0.4
CONSUMO TOTAL			336.04

Cuadro 3.4: Consumo máximo de corriente del prototipo. *Basado en el gasto de cada componente*

3.10. Instrucciones de Uso

El bastón inteligente tiene la capacidad de detectar objetos a la altura de la cabeza, cintura y escalones. El sistema se acciona con interruptor ubicado en la base inferior donde se encuentra el sensor ultrasónico y el microcontrolador, como se observa en la Figura 3.16.



Figura 3.16: Vista superior de la base inferior del bastón inteligente, en la parte superior izquierda se puede apreciar el interruptor del sistema

Automáticamente el bastón al detectar algún obstáculo que esté a su alcance y alertará al usuario.

Existen dos maneras distintas de alerta:

- Si el sistema detecta objetos a la altura de la cabeza, el bastón emitirá un sonido y vibrará el mango de agarre del bastón simultáneamente.
- Si el sistema detecta algún objeto a partir de la altura de la cintura del usuario hasta la altura de los tobillos, el mango de agarre vibrará, pero sin emitir sonido.

La intensidad de vibración del mango de agarre es proporcional a la distancia a la que se encuentre el obstáculo.

El sistema es recargable, la batería de litio cuenta con una salida que permite conectar al sistema a una fuente especial para recargar.

Capítulo 4

PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Se acudió a la fundación Pro Ciegos para realizar las pruebas con el bastón inteligente, mediante un escrito expedido por la Facultad de Ingeniería se obtuvo el acceso.

4.1. Fundación Pro Ciegos

El Comité Internacional Pro Ciegos, I.A.P. (CIPC) es una institución de asistencia privada no lucrativa que nace el 15 de mayo de 1959 con la finalidad de rehabilitar y capacitar al adulto ciego o débil visual mediante programas exitosos para reintegrarlos al campo laboral [39].

Está constituido por damas voluntarias que conforman el Patronato y que trabajan bajo la consigna *Viendo Por Ti*.

Es una institución, que está regulada por la Junta de Asistencia Privada del D.F. (JAPDF) y reconocida como donataria autorizada por el Servicio de Administración Tributaria (SAT).

Cuenta con proyectos autosustentables como la transcripción del Negro al Braille (libros, menús, tarjetas, revistas, placas, etc.) y la imprenta Braille (nombrada por la Unesco como la primera imprenta en Braille para escribir en español en América Latina). Además se han firmado convenios de apoyo para actividades con el IMSS, ISSSTE, DIF nacional y gobierno del D.F.

En la actualidad, se cuentan con más de 6,000 tomos en Braille por lo que se ha catalogado como la biblioteca más grande de Latinoamérica en este rubro.

A lo largo de estos 50 años de trayectoria, diversas personalidades han visitado el Comité Pro Ciegos. La Sra. Helen Keller, la Sra. de Díaz Ordaz, la Lic. Margarita Zavala, representantes de la FOAL (Fundación Once para América Latina), periodistas de la talla de la Lic. Cristina Pacheco, televisoras nacionales, radiodifusoras, periódicos, revistas y personalidades del medio del espectáculo.



Ciudad Universitaria a 7 de mayo, 2014

Lic. Alma Susana Portales Galindo
Comité Internacional Pro Ciegos
Presente

Estimada licenciada Portales:

Por medio de la presente solicito su apoyo para la realización de un proyecto de tesis de licenciatura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el cual consiste en el diseño de un bastón blanco inteligente que detecta obstáculos por medio de sensores de ultrasonido, no solo en el piso, sino también en el área cercana a la cabeza del usuario. El prototipo se encuentra en proceso de diseño, y sería deseable que el alumno responsable de la tesis **Nahúm Quijas Hernández**, pudiera hablar con algunas personas que habitualmente utilizan bastón blanco para mejorar el prototipo, y este se ajuste perfectamente a las necesidades de las personas con discapacidad visual. Si usted pudiera ponernos en contacto con algunas personas interesadas en probarlo, le agradeceríamos mucho su colaboración.

En caso de que necesite información más detallada le pido amablemente me contacte. Sin más por el momento le envío un cordial saludo.

Atentamente

Dra. Ana Gabriela Gallardo Hernández

DR. FRANCISCO J. GARCIA UGALDE

Figura 4.1: Carta dirigida al Comité Internacional Pro Ciegos, IAP

4.2. Datos técnicos de las pruebas

Durante las pruebas los invidentes detectaron diversos obstáculos que ponían en riesgo su integridad. Al detectar obstáculos en la parte superior del cuerpo se detenían o eran alertados con un metro de anticipación. En la parte central e inferior del sistema se detectaron objetos a una distancia de un metro y medio.

El tiempo para estas actividades estaba limitado por condiciones propias de la institución. Cada usuario utilizó el bastón durante 20 minutos.

Se dio una capacitación de tres minutos individualmente, para explicarles el funcionamiento del bastón y el significado de los estímulos emitidos por el bastón. Las pruebas se realizaron con tres personas de la institución con edades que van de 22 a 60 años.

Se realizó un recorrido de 630 metros aproximadamente, y no se suscitó ningún accidente durante las pruebas. Con la ayuda de Google Maps fue posible cuantificar la distancia [40] . Ver Figura 4.2.



Figura 4.2: Trayecto completo del recorrido de los tres invidentes[40]

4.2.1. Velocidad y desplazamiento

Se registró el tiempo total de la trayectoria que hizo cada invidente. Con el tiempo y la distancia recorrida se obtuvo la velocidad promedio de cada usuario y la de los invidentes

en conjunto.

En la Figura 4.3 y 4.4 se observan los caminos que se utilizaron para recabar los datos de distancia y tiempos [40].



Figura 4.3: Trayectoria corta para obtener datos del comportamiento de la velocidad de cada usuario[40]

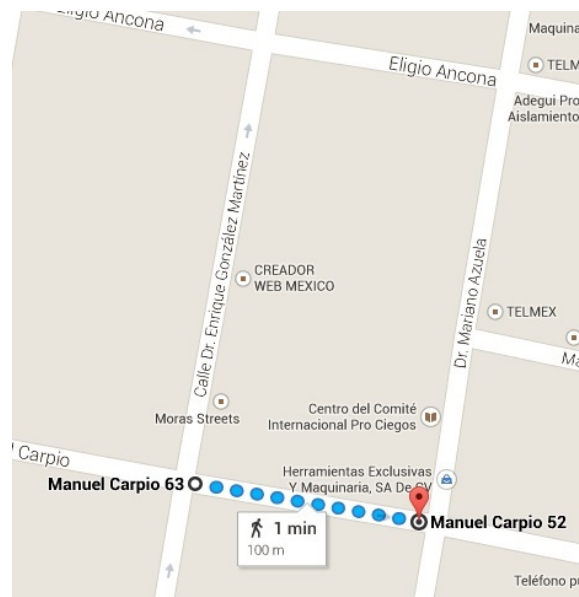


Figura 4.4: Segunda trayectoria para adquirir los datos y comprobar si existe variación en los resultados [40]

El cuadro 4.1 muestra a continuación los resultados de la velocidad de cada invidente y la velocidad promedio.

Nombre	Velocidad [m/s]
Oscar	0.7142
Susana	0.556
Rodolfo	0.667
Promedio	0.64562

Cuadro 4.1: Tabla de velocidades

4.3. Pruebas experimentales

Para probar el bastón, se solicitó por medio de un escrito expedido por la Facultad de Ingeniería el acceso a la fundación Pro Ciegos, en la Figura 4.1 se observa la carta expedida. Después de acceder a la petición se efectuaron las pruebas con el prototipo.

La evaluación cualitativa de los invidentes que utilizaron el bastón fueron de gran utilidad para conocer un factor no considerado cuando se diseñó y manufacturó el prototipo. Ampliar o reducir la longitud del sistema.¹



¹Los comentarios de los invidentes fueron grabados y escritos con el consentimiento de cada uno de ellos.

4.3.1. Invidente 1. Oscar

Oscar tiene 36 años de edad, el fue el primer invidente en hacer uso del bastón inteligente. Figura 4.5.

Lo más significativo para él fue la detección de obstáculos en la parte superior del cuerpo. Le fue sencillo adaptarse al bastón a pesar de la zona donde se realizaron las pruebas. Pese a las condiciones del lugar, el bastón no tenía disparos en falsos y le advertía donde se encontraba el obstáculo a evadir.



Figura 4.5: Oscar y la profesora Guadalupe Franco. Ella es encargada de preparar a los alumnos invidentes

Utilizó el bastón como si fuera el convencional, y lo expuso a esfuerzos que estaban contemplados para la tercera versión, como se puede apreciar en la Figura 4.6. Situación prevista para esta última versión, la cual consistía en poder sumergirlo en charcos, baches profundos y pavimento con protuberancias.



Figura 4.6: Caminando con el bastón inteligente sobre el pavimento de la Ciudad de México

El sistema es capaz de librar los surcos de las coladeras por medio de la rueda loca, al poder girar en cualquier dirección, evita su obstrucción en lugares de esa índole. En la Figura 4.7 se aprecia una coladera con la que diariamente un invidente puede encontrarse en su camino.



Figura 4.7: Coladeras comunes en la Ciudad de México

4.3.2. Invidente 2. Susana

La señora Susana fue la segunda persona en utilizar el bastón, tiene 60 años de edad. Ella comentó - *"El poder alertar a un invidente sobre peligros a la altura de la cabeza es de gran utilidad, ya que constantemente se golpean con objetos como ramas, medidores de luz o cajas de teléfonos públicos"*. Figura 4.8.



Figura 4.8: Señora Susana transitando con el sistema inteligente

Existieron obstáculos a evadir con el prototipo, en la Figura 4.9 se observa a la señora Susana caminando sobre el suelo de madera; y en la Figura 4.10 se observa como el bastón cae en un surco profundo y es evadido sin dificultades.



Figura 4.9: Suelo de madera



Figura 4.10: Librar un tronco de árbol y salir del bache de la banqueta

4.3.3. Incidente 3. Rodolfo

Rodolfo fue la tercera persona en manipular el bastón inteligente, además de ser el usuario más joven con 22 años de edad.

La profesora Guadalupe Franco mencionó el cambio de posición mostrada por Rodolfo al utilizar el bastón. En la Figura 4.11 se observa la posición erguida de su caminar. Lo cual no solía ser así sin el prototipo. Este comentario surgió durante las pruebas realizadas.



Figura 4.11: Rodolfo caminando erguido con el bastón inteligente

Él se encontró con objetos a la altura de la cintura y la cabeza. Los obstáculos detectados se observan en la Figura 4.12, los cuales fueron una motocicleta y algunos globos. Si bien, los globos pudieran ser medidores de luz.



Figura 4.12: Rodolfo evadiendo la motocicleta y el globo

Actualmente en la República Mexicana se encuentran los medidores de luz instalados sobre las fachadas de los domicilios, a la altura de la cabeza de un mexicano promedio, como se aprecia en la Figura 4.13.



Figura 4.13: Los medidores son un peligro para las personas invidentes y para los que no lo son. La profesora comenta que algunos invidentes han sufrido algún incidente con los medidores instalados sobre las fachadas de las viviendas.

Otro obstáculo fue una ventana. De no haber sido detectada la ventana, hubiese dañado a Rodolfo. Ver Figura 4.14.



Figura 4.14: Rodolfo se detiene para palpar el obstáculo detectado.

4.4. Discusión

Se comprobó la funcionalidad del sistema inteligente para los enfermos visuales. Los usuarios no sufrieron accidentes, y se logró detectar obstáculos en diversas áreas del cuerpo. El costo del sistema fue bajo como se planeó desde un principio.

Es posible hacer mejoras respecto a tamaño y peso del prototipo. Los usuarios del bastón mostraron interés en implementar sistemas inteligentes que les permitan mejorar su andar. Sin embargo, los costos es una complicación para ellos.

CONCLUSIONES

Se fabricó diseño y construyó un sistema capaz de brindar a los invidentes autonomía y seguridad en su vida diaria. Una prerrogativa es proporcionar un trayecto seguro al invidente en cualquier lugar a donde él se dirija. Otra, es el bajo costo final del prototipo manufacturado.

Fue necesario elaborar tres versiones del bastón. Cada versión se fue mejorando con el propósito de hacer más eficiente al prototipo. Finalmente, los aspectos como peso, estética, movilidad, ahorro de energía y costo fueron mejorados para la última versión. Los invidentes que hicieron uso del bastón, sugirieron construir un bastón de tamaño universal, para evitar conflictos con la estatura de cada usuario.

Ante los resultados obtenidos, se logró adaptar el sistema a la vida cotidiana de un invidente, cumpliendo el cometido de salvaguardar la integridad de los invidentes que hagan uso del bastón, y el bajo costo hará posible que muchas personas se vean beneficiadas y lo puedan adquirir.

Se debe tomar en cuenta un aspecto muy importante del bastón inteligente, el cual conlleva a reducir el peso del sistema. Esto se lograría cambiando el tipo de material de la estructura del diseño final.

Personalmente, como autor del prototipo, haber ido a la fundación y trabajar con este grupo de personas me dio una perspectiva diferente de la vida, como valorar lo que tenemos, a ser mejores personas cada día, y preocuparnos por cosas realmente sean importantes.

Apéndice A

Componentes

El cuerpo del bastón está hecho de una pieza metálica, los contenedores de los sensores ultrasónicos y el mango son de madera. Por último, la rueda loca ubicada en la parte inferior del bastón está compuesta de plástico con una base de aluminio. Los dispositivos utilizados se muestran a continuación:

A.1. Sensores Ultrasónicos



Figura A.1: Sensor Ultrasónico *SRF05*

Los sensores ultrasónicos son dispositivos electrónicos que tienen una entrada y una salida llamadas *Echo* y *Trigger*, respectivamente. Ver Figura A.1.

Su funcionamiento consiste en emitir una onda electromagnética a una frecuencia de 40[KHz] por una de las terminales (*Echo*). La señal al detectar el objeto, rebota y regresa en un determinado tiempo. El lapso demorado en recibir la señal depende de la distancia a la cual se detectó el objeto [32]. En la Figura A.2 se muestra gráficamente el funcionamiento cuando éste detecta un objeto.

El sensor permite medir distancias de 3[cm] a 4[m] [32]. Para el diseño del bastón se propuso acotar el rango entre 10[cm] y 1.6[m].

El sensor demora 30[ms] en procesar si hay objeto o no. Sucede cuando se encuentra a más de 4[m], el sensor ya no recibe la onda electromagnética de regreso, significa que el obstáculo está fuera de rango.

El tiempo máximo de respuesta es de 100[us], cuando el sistema detecta un obstáculo a 3[cm] de éste. El tiempo máximo de detección de 25 [ms], cuando el objeto está a cuatro metros de distancia.

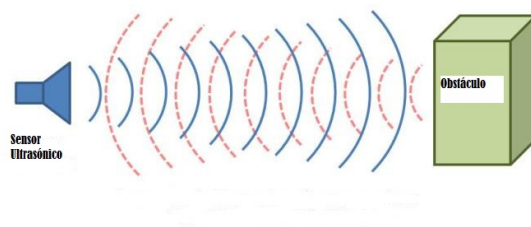


Figura A.2: Descripción gráfica del funcionamiento del sensor ultrasónico

A.2. Mini Buzzer



Figura A.3: Mini buzzer

El buzzer es un transductor¹ electroacústico muy pequeño, actúa como bocina. Posee dos terminales como se puede observar en la Figura A.3. Se acciona por medio de una onda cuadrada a una con un ancho de banda de 2.5[KHz]. Al variar el tren de pulsos, incrementa o disminuye la duración del sonido emitido por el buzzer.

Su función es alertar al invidente de algún obstáculo a la altura de la cabeza. Dependiendo de la proximidad del objeto a esquivar, se verá o no afectado el periodo del tren de pulsos enviado desde el microcontrolador. En consecuencia, la duración del sonido emitido también.

A.3. Motores Vibradores Circulares

Son motores vibratorios circulares de 10[mm] de diámetro y 3.4[mm] de altura; tienen un peso aproximado de 0.75[g]. Su rango de operación es de 3[V] a 60[mA], y funcionan a velocidad entre 12000[rpm] y 14500[rpm][33]. Ver la Figura A.4.

¹Un transductor es un dispositivo capaz de convertir la energía que recibe a la entrada, en otra diferente a la salida.



Figura A.4: Motor vibrador con diámetro 10[mm] y 3[mm] de espesor

Para propósitos de diseño del sistema, los sensores ultrasónicos trabajan en conjunto con los motores vibradores.

Estos componentes se activan cuando el arreglo de sensores ultrasónicos detectan un obstáculo. Y alertan al invidente por vibraciones, y así el usuario sabrá que el objeto está cerca.

A.4. Diodo

El diodo es un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica dependiendo de las condiciones de trabajo [5]. Opera como interruptor, y en función de la tensión que exista en cada uno de sus terminales, estará abierto o cerrado. Las terminales del diodo se les conocen como ánodo y cátodo. Ver la Figura A.5.

A continuación se muestran las características de operación del diodo:

- **Directa.** Cuando la corriente circula del *ánodo* A al *cátodo* C, siguiendo la trayectoria A-C se le denomina polarización en directa. El diodo al encontrarse en directa, manifiesta un comportamiento como un corto circuito.

El diodo produce una caída de tensión de 0.7 [V] entre el voltaje de entrada que se aplica con respecto al de salida. Siempre y cuando esté conectado en directa.

- **Inversa.** Cuando la corriente circula del *cátodo* C al *ánodo* A, siguiendo la trayectoria C-A se le denomina polarización en inversa. El diodo al encontrarse en inversa presenta alta impedancia y se bloquea, funcionando como circuito abierto. El diodo en inversa no presenta ninguna caída de tensión, porque no existe conducción.

Se utilizaron para la protección de propiedades inductivas de los embobinados. Éstas puede producir picos de alto voltaje que puedan dañar los circuitos integrados, transistores e incluso al microcontrolador[11].

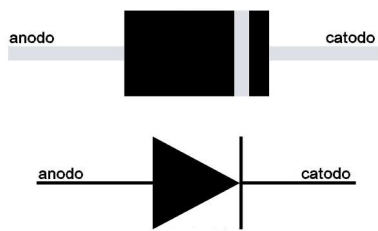


Figura A.5: Diagrama de terminales del diodo. *ánodo*(A) y *cátodo* (C)

A.5. Reguladores de Tensión

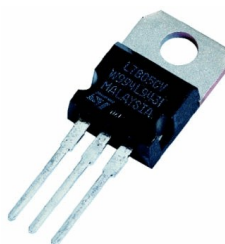


Figura A.6: Modelo encapsulado de un regulador de tensión

En la figura A.6 se muestra el dispositivo electrónico diseñado con el objetivo de proteger aparatos eléctricos y electrónicos sensibles a variaciones de diferencia de potencial (voltaje) y ruido existente en la corriente alterna de la distribución eléctrica.

La misión es proporcionar una tensión constante a su salida. Un regulador de tensión eleva o disminuye la corriente para que el voltaje sea estable.

A.6. Transistor

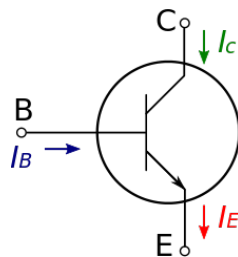


Figura A.7: Transistor. Representación electrónica y dirección de corrientes

El transistor es un dispositivo semiconductor que permite el control y la regulación de una corriente grande mediante una señal eléctrica pequeña [5]. La simbología del transistor se aprecia en la Figura A.7.

Para fines del prototipo, se optó por trabajar en las regiones de corte y saturación, porque este funcionamiento permite activar o desactivar los motores vibradores. A continuación se describe el funcionamiento de cada una de ellas:

- *Corte.* No circula corriente por la base del transistor, ver Figura A.7. En consecuencia, tampoco entre el colector y emisor. Funciona como interruptor abierto.
- *Saturación.* La corriente de la base es muy alta. Esto permite la circulación de corriente entre el colector y emisor, ver Figura A.7. Funciona como interruptor cerrado.

La configuración del transistor es emisor común. La tensión de entrada se aplica entre base y emisor, y la tensión amplificada se obtiene entre colector y emisor. Esta configuración se denomina amplificador con emisor común.

A.7. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 basada en el microcontrolador Atmega2560. Dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM (modulación de anchura de pulso), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas series) y un oscilador de 16[MHz] [35].

Además de conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, un pulsador para el reset, tensión de alimentación de 7[V] a 12[V], consumo de corriente entre 30[mA] y 40[mA] y sus dimensiones con 10[cm] de largo y 5[cm] de ancho.

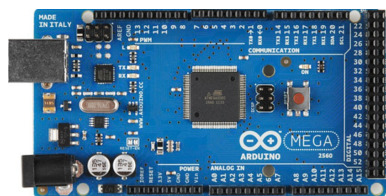


Figura A.8: Microcontrolador Arduino Mega

Apéndice B

Enfermedades: Ceguera y pérdida de la visión

La ceguera es la falta de visión y también se puede referir a la pérdida de la visión que no se puede corregir con gafas o lentes de contacto. Puede suceder de manera repentina o con el paso del tiempo. Algunos tipos de pérdida de la visión nunca llevan a ceguera completa. [37]

- *La ceguera parcial.* La visión es muy limitada.
- *La ceguera completa.* No se puede ver nada, ni siquiera la luz.

B.1. Cataratas

Una catarata opaca o nubla el lente del ojo. Esto afecta la vista. Las cataratas son muy comunes en las personas mayores [18].

Las cataratas pueden afectar uno o los dos ojos pero no se contagia de uno a otro. Los

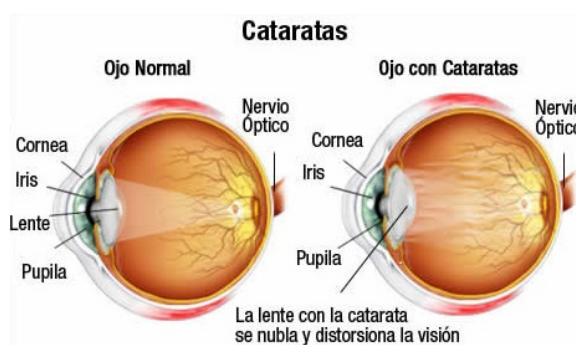


Figura B.1: Ojo con problemas de cataratas. Se observa la obstrucción

síntomas más comunes son:

- Vista borrosa
- Colores que parecen desteñidos

- Resplandor alrededor de las luces: puede ser que las luces de los coches, lámparas y del sol se vean demasiado brillantes
- Dificultad para ver bien de noche
- Ver doble
- Cambios frecuentes en las recetas de sus lentes

Las cataratas suelen aparecer lentamente. El uso de anteojos nuevos, la iluminación más brillante, anteojos de sol antirreflejo o lentes de aumento puede ayudar al principio. La cirugía también es una opción. Incluye la extirpación del lente opacado y su reemplazo por un lente artificial. El uso de anteojos de sol y sombrero con visera que bloquee la luz ultravioleta pueden ayudar a demorar la aparición de cataratas.

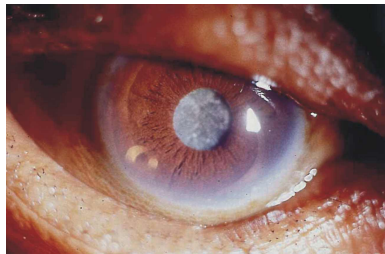


Figura B.2: Ojo con problemas de cataratas. En la figura se observa una capa que obstruye la visión

B.2. Glaucoma

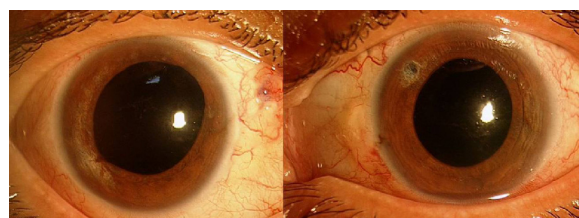


Figura B.3: Trastornos del glaucoma

Glaucoma es un grupo de enfermedades que pueden dañar el nervio óptico. Ocurre cuando la presión del líquido que se encuentra dentro de los ojos aumenta lentamente y lesiona el nervio óptico. Es posible que al comienzo no haya síntomas. Sin tratamiento, las personas con glaucoma perderán la visión periférica. Sienten como que están mirando a través de un túnel. Con el tiempo, esta visión de túnel (el campo visual) puede disminuir hasta llevar a la ceguera [21].

Un examen integral del ojo puede determinar si se padece de glaucoma. Algunas personas corren más riesgo que otras. Estas tendrían que realizarse un examen completo de

los ojos por lo menos una vez cada dos años. Quienes están a riesgo son:

- Afroamericanos mayores de 40 años
- Personas mayores de 60 años, especialmente mexicoamericanos
- Personas con antecedentes familiares de glaucoma

No hay cura para el glaucoma pero puede ser controlado. El tratamiento inmediato en la primera etapa puede ayudar a proteger la pérdida de la visión. Los tratamientos suelen incluir gotas para los ojos y/o cirugía.

B.3. Enfermedades retinales

La retina es una capa de tejido en la parte posterior del ojo que percibe la luz y envía las imágenes al cerebro. En el centro de este tejido nervioso se encuentra la mácula, que permite enfocar la vista hacia el centro y la agudeza necesaria para leer, conducir y ver claramente los detalles [19].

Las enfermedades de la retina afectan este importante tejido. Pueden afectar la vista y algunas pueden ser lo suficientemente graves como para causar ceguera. Algunos ejemplos son:

- Degeneración macular: una condición que destruye la agudeza de la visión central
- Enfermedad diabética del ojo
- Desprendimiento de retina: una urgencia médica, cuando la retina se despega de la parte posterior del ojo
- Retinoblastoma: cáncer de la retina¹.
- Membrana epirretínica: presencia de tejido cicatricial en la mácula
- Agujero macular: pequeña ruptura en la mácula que suele ocurrir en personas mayores de 60 años
- Cuerpos flotantes: telarañas o pequeñas manchas en el campo de la vista

B.4. Conjuntivitis

La conjuntivitis causa hinchazón, picazón, ardor, lagrimeo y enrojecimiento de la conjuntiva, la membrana delgada y translúcida que recubre la parte blanca del ojo y el interior de los párpados. Las causas pueden ser:

¹Es más común en niños pequeños

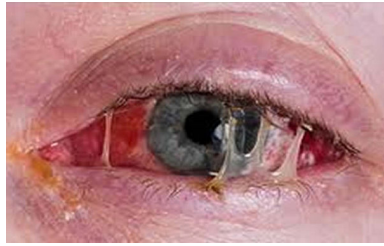


Figura B.4: Ojo con trastornos de conjuntivitis

- Infección bacteriana o viral
- Alergias
- Sustancias que causan irritación
- Productos que se usan para los lentes de contacto, gotas para los ojos o ungüentos

La conjuntivitis, en general, no afecta la vista. La conjuntivitis infecciosa se contagia fácilmente de persona a persona. La infección desaparece por sí sola sin tratamiento, pero la conjuntivitis bacteriana necesita tratamiento con gotas o ungüentos antibióticos [19].

B.5. Sordoceguera

Las personas con sordoceguera son aquellas personas con un deterioro combinado de la vista y el oído que dificulta su acceso a la información, la comunicación y la movilidad. Esta discapacidad afecta gravemente las habilidades diarias necesarias para una vida mínimamente autónoma; también requiere de servicios especializados, personal específicamente formado para su atención y métodos especiales de comunicación [27].

Características de la sordoceguera

La visión y la audición son nuestros principales sentidos distales, aquellos a través de los cuales accedemos a la información que tenemos a distancia. El 95 % de la información con la que funcionamos cada día nos entra por los ojos y los oídos.

Las dificultades que implica para una persona tener problemas simultáneos en la visión y la audición son enormes. Aspectos básicos como la interpretación del entorno, la capacidad de relacionarse y las habilidades de aprendizaje se ven directamente afectadas y la autonomía, notablemente reducida.

Entre las principales características de la sordoceguera destacan:

- *Comunicación.* Dependiendo de la existencia o no de algún resto visual y/o auditivo y de las oportunidades de aprendizaje que haya tenido, la persona con sordoceguera dominará o no algún sistema de comunicación, desde los más primarios, hasta alguno soportado por tecnología, como los implantes cocleares. En cualquier caso, la persona deberá hacer uso de un sistema de comunicación alternativo que le permita

expresarse y recibir entradas de información.

Normalmente las personas con sordoceguera hacen uso de la Lengua de Signos Apoyada en las manos, con la ayuda de un intérprete mediador, pero cada caso requiere de atención individual para adaptarse al sistema de códigos utilizado por el usuario.

- *Acceso a la información.* Las limitaciones de acceso a la información vienen dadas por las dificultades de comunicación. Una persona que no puede hacer uso libremente de las informaciones del entorno (climatología, señalización, procedimientos, tráfico, así como cualquier documentación, cartelería o anuncio) no puede relacionarse libre y oportunamente, ejercer plenamente sus derechos ni tomar las decisiones que le conciernen de forma autónoma. Pasa así a ser una persona en algún grado dependiente y socialmente vulnerable.
- *Movilidad.* La sordoceguera puede acarrear limitaciones importantes en cuanto a capacidad física, equilibrio y orientación, haciendo que el desplazarse se convierta en un reto insalvable si no se cuenta con ayuda. Algunas adaptaciones de accesibilidad o iluminación ser de gran ayuda, aunque muchas veces no puedan sustituir la necesidad de un acompañante.

Bibliografía

- [1] INEGI.(2004). *Las personas con discapacidad visual en México: una visión censal*. Extraído el 28 de Abril de 2014 Disponible en el sitio http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2000/discapacidad/discapacidad2004.pdf .
- [2] Instituto de Desarrollo Urbano. (2005). *Guía práctica de la movilidad peatonal*. Extraído el 17 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio http://www.idu.gov.co/web/guest/tramites-documentos?p_p_id=20&p_p_action=1&p_p_state=exclusive&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=0&p_p_col_count=0&_20_struts.action=%2Fdocument_library%2Fget_file&_20_folderId=21&_20_name=guia_de_movilidad_peatonal.pdf
- [3] R. C. Dorf and J. A. Svoboda. *Electric Circuits* Alfaomefa; 6th edition 2011.
- [4] Boylestad Nashelsky, *Electronic Divices and Circuit Theory*, Prentice Hall; 7th edition, August 1998.
- [5] Boylestad, Robert y Nashelsky, Louis. *Electronic devices and circuit theory*, 5a. edición, New Jersey, Prentice Hall, 1992.
- [6] Leithold Louis. *El Cálculo* Oxford University Press 1998.
- [7] Zill Dennis G. , Wright Warren S. *Cálculo de Varias Variables*, Mc Graw Hill 2008.
- [8] Fredrick M. Cady., James M. Sibigtrogh. *Software and Hardware Engineering*, New York, Oxford, 2000.
- [9] Ogata, Katsuiko. *Dinámica de sistemas*, México, Pearson, 1988.
- [10] Coughlin Robert F. y Frederick F. Driscoll. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*, 4a. edición Naucalpan, México, Prentice Hall, 1993.
- [11] Sedra, Smith. *Circuitos Microelectrónicos*, 4a. edición, México, Oxford University Press, 1999.
- [12] Rashid, Muhammad H. *Circuitos Microelectrónicos Análisis y Diseño*, México, Thompson, 2000.
- [13] Pita Ruiz, Claudio. *Cálculo Vectorial*, México, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1995.
- [14] Marsden, Jerrold E. y TROMBA, Anthony J. *Cálculo Vectorial*, México Prentice-Hall Hispanoamericana, 1995.

- [15] Larson, R. E., Hostetler, R.P. y Edwards, B.H. *Cálculo I y Cálculo II*, Cálculo I y Cálculo II, 8a edición, México, McGraw Hill, 2006.
- [16] Stewart, J. *Cálculo de varias variables: Trascendentes tempranas*, 6a edición, México, Cengage Learning, 2008.
- [17] Cairó, Osvaldo. *Metodología de la Programación Algoritmos, Diagramas de Flujo y Programas*, 2a. edición, México, Alfaomega, 2003, Tomos I y II.
- [18] Roger F. Steinert. *Cataract Surgery*, Elsevier Health Sciences, 2010.
- [19] Miller D, Schor P, Magnante P. *Optics of the normal eye: Ophthalmology*, 3rd ed. Philadelphia, PA: Elsevier Mosby, 2008.
- [20] Llanea Álvarez, F. Javier *Ergonomía y Psicología Aplicada, Manual para la Formación del Especialista* Lex Nova; Octava Edición, Mayo 2007.
- [21] Trope, Graham F. *Glaucoma: A Patient's Guide to the Disease*, Third Edition, August 2004.
- [22] Vergara Díaz, Jairo Miguel. *Microcontroladores PIC principios y aplicaciones*, Tercera edición, Universidad de Medellín, Mayo 2009.
- [23] Asociación Mexicana de Facultades, Escuelas, Colegios y Consejos de Optometría. *Estadísticas de problemas visuales en México*, Extraído el 1 de Junio de 2014. Disponible en el sitio http://www.amfecco.org/article_estadisticas.php
- [24] I-Cane Mobilo (2013, 15 de Octubre). *Intelligent white cane improves mobility and independence of blind and visually impaired people*. Extraído el 7 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio <http://www.i-cane.org/en/865> -
- [25] Eye Stick (2013, 14 de Enero). *Modern Cane For Blind People*. Extraído el 7 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio <http://www.yankodesign.com/2013/01/14/light-saber-can-for-the-sight-impaired/>
- [26] Calin Giubega (2011, 12 de Febrero). *Minivo: Radar táctil para ciegos*. Extraído el 7 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio <http://www.neoteo.com/munivo-radar-tactil-para-ciegos/>
- [27] Federación Española de Sordoceguera. (2007) *Características de la sordoceguera*. Extraído el 10 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <http://www.fesoce.org/index.php/que-es-sordoceguera.html>
- [28] Asociación Internacional de Ergonomía. (2014). Extraído el 29 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio www.ergonomos.es/ergonomia.php -].
- [29] INEGI. (2010). *Número de habitantes*. Extraído el 29 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- [30] Sociedad de Ergonomistas de México. (2002). *Datos Antropométricos de México*. Extraído el 6 de Abril de 2014. Disponible en el sitio <http://es.slideshare.net/juangonzalezleija/cfakepathdatos-antropometricos-3925719>

- [31] Worldwide Vision. *I-Cane Mobilo long cane with navigation and obstacle sensor-technology, length 135[cm]*. Extraído el 1 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <https://www.worldwidevision.nl/en/product/mobility/long-canes/telescopic-canes/077530/i-cane-mobilo-long-cane>
- [32] SuperRobótica. (2014, 7 de Enero). Extraído el 5 de Junio de 2014. *SRF05 Sensor Distancias Ultrasonidos Simple*. Disponible en el sitio <http://www.superrobotica.com/S320111.htm> - [página consultada 7 de Mayo de 2014].
- [33] Polulu Robotics & Electronics. (2014). *Shaftless Vibration Motor 10 x 3.4[mm]*. Extraído el 13 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <http://www.pololu.com/product/1636>
- [34] *Transducer*. (2014). Extraído el 16 de octubre de 2014. Disponible en el sitio <https://www.modmypi.com/mini-piezo-transducer-buzzer>
- [35] Arduino. (2014). *Arduino Mega 2560*. Extraído el 17 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [36] K M D Bushby, T Cole, J N S Matthew, J A Gooship. (1992, 8 de Julio). *Centiles for adult head circumference* Department of Human Genetics, University of Newcastle upon Tyne. Institute of Medical Genetics for Wales, Cardiff. Department of Medical Statistics. University of Newcastle upon Tyne. Extraído el 15 de Mayo de 2014. Disponible en el sitio <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1793909/pdf/archdisch00633-0054.pdf>
- [37] National Institute of Health. (2014, 9 de Octubre). *Ceguera y pérdida de la visión*. Extraído el 20 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003040.htm>
- [38] Sealed Lead-Acid Batteries Technical Manual. (2009). *Capacity*. Extraído el 21 de Octubre de 2014. Disponible en el sitio <https://www.kenlab.com/attachments/article/13/powersonicmanual.pdf>
- [39] Comité Internacional Pro Ciegos IAP. (2014). *Historia de la Institución*. Extraído el 13 de Noviembre. Disponible en el sitio <http://www.prociegos.com/-historia-de-la-institucion.php>
- [40] Google Maps. (2014). *Trayectoria de los invidentes*. Extraído el 19 de Noviembre. Disponible en el sitio <https://www.google.com.mx/maps/place/Manuel+Carpio+63,+Santa+Mar%C3%ADa+La+Ribera,+06400+Ciudad+de+M%C3%A9xico,+D.F.>
- [41] Google Images. (2014). *Imágenes laterales de personas*. Extraído el 30 de Noviembre. Disponible en el sitio <https://www.google.com.mx/search/q=hombre+perfilclient=firefoxahs=K8FrIs=org.mozilla:es-MX:officialchannel=ntssource=lnmstbm=ischsa=Xei=leNVKiyE47noAT75oCgAwved=8=0CAgQ-AUoA&biw=1366bih=bDMNMarc hivo%252Fpersona-de-pie-perfil.html%3B113%3B168>