UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE

Sistema de sustitución sensorial visual-auditivo

Nicolás Ignacio González Núñez

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

PROFESOR GUÍA: **María José Escobar**

PROFESOR CORREFERENTE: **Nicolás Jara**

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi familia y a mi pareja que han estado a lo largo de todo este tiempo brindándome su apoyo incondicional, el que ha sido fundamental para mantenerme en pie durante esta larga travesía.

También agradezco a todas aquellas personas que han sido partícipe de mi crecimiento como profesional, ya que es gracias a ellos que he podido llevar a cabo este trabajo de memoria de titulación.

Finalmente y no menos importante agradezco a mi profesora guía María José Escobar que me ha orientado con sus conocimientos durante el progreso de este trabajo.

Sistema de sustitución sensorial visual-auditivo

Nicolás Ignacio González Núñez

Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Telemático.

Universidad Técnica Federico Santa María

Profesor guía: María José Escobar

Octubre 2018

Resumen

En el área de la medicina gran parte de los esfuerzos están centrados a enfermedades crónicas que afectan a la población, sin embargo, existen otras aristas en la medicina las cuales no han recibido el mismo nivel de esfuerzos, ese es el caso de las discapacidades físicas, cognitivas y sensoriales [9]. En la actualidad se estima que cerca de 295 millones de personas en el mundo padecen algún tipo de discapacidad visual, de los cuales 39 millones son ciegos [8]. Aunque no clasifica como una patología que comprometa la vida del paciente, le genera grandes dificultades para desarrollar su vida con normalidad e insertarse en la sociedad actual a un gran número de personas.

Es por lo anterior que se dedican los esfuerzos del presente trabajo de memoria de titulación a aportar en el desarrollo de ingeniería enfocado a personas con ceguera. Para ello, se desarrollla un programa informático capaz de convertir imágenes en señales acústicas, con la finalidad de que el usuario pueda percibir su entorno visual mediante el uso del sentido de la audición.

El programa es escrito utilizando el lenguaje de programación Python y consta principalmente de dos partes; una que realiza el procesamiento de imágenes y extrae la información relevante, y otra que en base a la información otorgada por el anterior realiza la generación de sonidos audibles mediante la utilización de un lenguaje de programación llamado CSound.

En un entorno controlado, se somete a diferentes pruebas a un grupo de usuarios sin experiencia de uso del dispositivo, con las cuales se comprueba la efectividad del prototipo, junto con los tiempos que requieren los usuarios para lograr realizar determinadas actividades.

Palabras clave: Ceguera, discapacidad visual, programa informático, Python, procesamiento de imágenes, generación de sonidos audibles, CSound.

Visual-auditory sensory substitution system

Nicolás Ignacio González Núñez

Final project report towards the fulfillment of Ingeniero Civil Telemático (6 year program).

Universidad Técnica Federico Santa María

Advisor: María José Escobar

October 2018

Abstract

Most of the achievements and studies within the medical field are focused on chronic diseases affecting the population, however, there are other facets in medicine that have not received the same level of attention, this is the case of physical, cognitive, and sensory disabilities [9].

Nowadays, about 295 million people worldwide suffer from some type of visual disability, out of which, 39 million are completely blind [8]. Even though, this condition is not a pathology compromising the life of the patients, it generates great difficulties in their everyday life and it complicates their incorporation into society.

Due to the aforementioned facts, the present work aims to contribute in the development of engineering to improve the life of people suffering from blindness. In order to achieve this goal, a computer program capable of converting images into acoustic signals is developed, allowing the users to perceive their visual environment by using the sense of hearing.

This program is written using the Python programming language and it consists of two parts; the first one performs image processing extracting relevant information, while the second one uses the information provided by the previous one to generate audible sounds through a programming language called CSound.

Under a controlled environment, different tests are performed within a group of users without experience using the device, in order to check the performance of the prototype, along with the times required by users to complete certain activities.

Keywords: Blindness, visual disability, computer program, Python, image processing, generate audible sounds, CSound.

Glosario

Python: Lenguaje de programación interpretado multiparadigma cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible.

CSound: Lenguaje de programación de computadores orientado a crear, editar, analizar y componer música y sonido.

Programa informático: Secuencia de instrucciones, escritas para realizar una tarea específica en una computadora.

Opsinas: Proteínas fotosensibles en las membranas de las células fotorreceptoras, tales como los bastones y los conos.

Vector viral: Un vector viral es un virus modificado que hace de vehículo para introducir material genético exógeno en el núcleo de una célula.

Hardware: Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.

Índice general

1.. Introducción 5
1.1. Contexto general 5
1.1.1. Enfoques protésicos 6
1.1.2. Terapia optogenética 7
1.1.3. Sistemas de sustitución sensorial 8

2.. Sistemas de sustitución sensorial 10
2.1. Sistemas táctiles 11
2.2. Sistemas audibles 12
2.3. Caso particular 15

3.. Diseño y propuesta 16
3.1. Requisitos del usuario 16
3.2. Propuesta 19
3.2.1. Procesamiento visual 19
3.2.1.1. Captar información visual 19
3.2.1.2. Procesamiento digital de imagen 20
3.2.1.3. Extracción de información 21
3.2.1.4. Comunicación con programa externo 22
3.2.2. Procesamiento auditivo 24
3.2.2.1. Lectura de información 24
3.2.2.2. Generación de sonidos 25
3.3. Pruebas de funcionamiento 28

3.3.1. **Prueba 1:** Identificación de objetos 29
3.3.2. **Prueba 2:** Identificación de zonas 30
3.4. Resultados 31
3.5. Limitaciones 32

4.. Conclusiones 33

Apéndice 37

Índice de figuras

1.1. Principales causas de ceguera año 2010. 5
1.2. Estructuras objetivo para prótesis visuales. 7
1.3. Retina saludable y etapas de degeneración de la retina. 8

2.1. Diagrama funcionamiento sistema de sustitución sensorial. 10
2.2. Representación de sistema de sustitución tactil-visual. 11
2.3. Diagrama de funcionamiento de vOICE 13
2.4. Ejemplo de matriz de pixeles en PSVA 15
2.5. Diagrama funcionamiento de sistema de sustitución sensorial visual-auditiva. 15

3.1. Resumen respuestas obtenidas desde encuestas. 17
3.2. Representación de rango audible en humanos. 18
3.3. Fotografía referencial de cámara web utilizada. 20
3.4. Representación de escala de grises. 20
3.5. Representación del procesamiento de imagen. 21
3.6. Ejemplo de imagen sectorizada. 22
3.7. Ejemplo de formato de escritura de archivo de texto. 23
3.8. Ejemplo real de escritura de archivo de texto a partir de imagen. . . . 23
3.9. Ejemplo real de reducción de datos en archivo de texto. 24
3.10. Ejemplo de matriz 7x7 para la generación de sonidos. 25
3.11. Representación de modificación de señal audible dependiendo el oído. 26
3.12. Matriz de 19x14 para la generación de sonidos. 27
3.13. Fotografía de conjunto cámara-audífonos. 28

3.14. Diagrama demostrativo de división de campo visual en 9 zonas. . . . 30
3.15. Diagrama demostrativo de división de campo visual en 4 zonas. . . . 31

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto general

En la actualidad se estima que cerca de 285 millones de personas en todo el mundo sufren algún tipo de discapacidad visual, de los cuales aproximadamente 39 millones son ciegos [8]. Dicha cifra va en aumento de la mano con el envejecimiento de la población [6]. A su vez, la ceguera es una de las discapacidades sensoriales más debilitantes, dado principalmente a la complejidad de ciertas labores cotidianas.
Las causales de esta discapacidad sensorial son variadas, encontrandose las cataratas como la principal de ellas, abarcando el 51 % de los casos, acompañado de diferentes patologías oculares como lo son la Retinopatía diabética y Retinitis pigmentosa entre otras (Ver Figura 1.1).

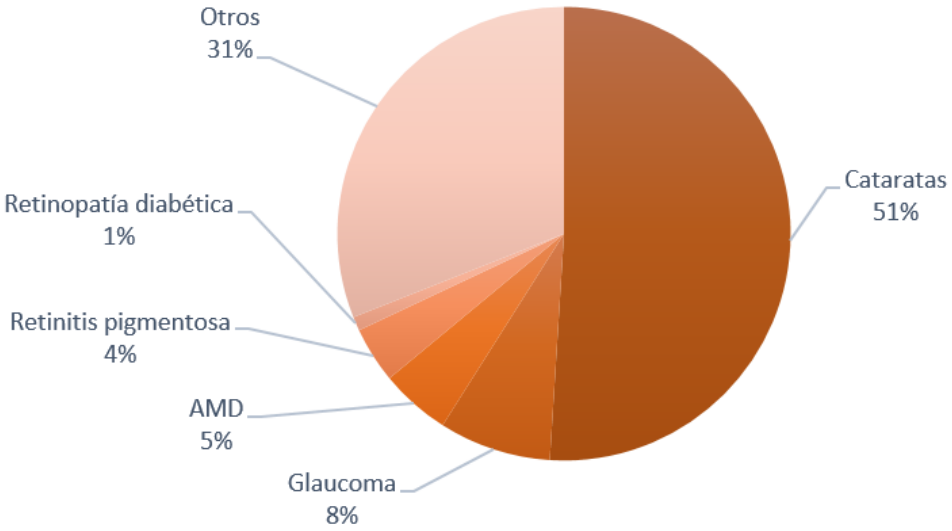


Fig. 1.1: Principales causas de ceguera año 2010.

Es por lo anterior y gracias a los avances tecnológicos alcanzados en la actualidad que se han desarrollado nuevas y mejores herramientas de apoyo orientadas a las personas con este tipo de discapacidad, enfocando dichos avances principalmente en tres ramas; Enfoques protésicos, terapia optogenética y sistemas de sustitución sensorial.

1.1.1. Enfoques protésicos

En algunas de las patologías que conducen a la pérdida de la visión, enfoques protésicos son actualmente la única esperanza para que el paciente recupere algo de la percepción visual.
El principio de estos enfoques protésicos es estimular eléctricamente las neuronas a lo largo de la vía visual, existiendo principalmente tres enfoques[6].

- **Ocular:** Este enfoque se dirige a las células restantes dentro de la retina, esto es posible solo en el caso que se cuente con supervivencia de células ganglionares junto con que a su vez se posea flujo activo de información a través del nervio óptico.

- **Nervio óptico:** Este enfoque se dirige al nervio óptico directamente, no obstante, su nivel de dificultad es más elevado, dada que la alta densidad de las fibras nerviosas es un problema para el control de la estimulación.

- **Cerebral:** Este enfoque se dirige a estimular estructuras cerebrales, como el núcleo geniculado lateral o la corteza visual directamente, lo cual es posible incluso en casos en que la degeneración retiniana es completa o cuando se está en presencia de una lesión del nervio óptico. Sin embargo, estas estrategias son mucho más invasivas, con lo que aumenta el nivel de dificultad.

Aunque los enfoques oculares son menos invasivos y más fáciles de implementar, la estimulación cerebral se aplica a enfermedades donde la conexión entre la retina y el cerebro se ha perdido, como por ejemplo en el glaucoma, beneficiando así a pacientes con diferentes patologías.

Para estos tres enfoques descritos, la prótesis se compone en la mayoría de los casos de una parte fotosensible, seguida de una etapa de procesamiento y finalmente una matriz de electrodos en contacto con la estructura objetivo (Ver Figura 1.2). A continuación se analizarán los principales tipos de implantes dentro de esta categoría.

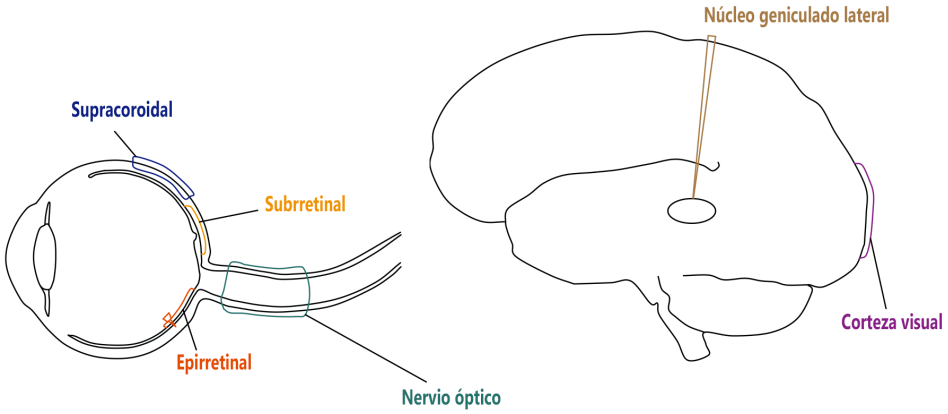


Fig. 1.2: Estructuras objetivo para prótesis visuales.

1.1.2. Terapia optogenética

La terapia optogenética sigue la idea de convertir neuronas retinianas insensibles a la luz en fotorreceptores artificiales, esto mediante el uso de opsinas sensibles a la luz. Lo anterior puede ser realizado con precisión en grupos celulares específicos de la retina mediante la utilización de vectores virales[3]. Al igual que en un implante eléctrico, un enfoque optogenético funciona independiente de la causa genética de la ceguera, por lo tanto la terapia optogenética es aplicable en una amplia variedad de enfermedades raras como la retinitis pigmentosa, así como a enfermedades más comunes, como la degeneración macular relacionada con la edad. Una ventaja del enfoque optogenético es que inyectar un vector viral en el ojo no requiere una cirugía complicada. Otro beneficio importante es el control de la actividad neuronal a alta resolución espacial, lo que tiene el potencial de restaurar la visión a altos niveles de agudeza.
Patologías como retinitis pigmentosa y degeneración macular relacionada con la edad provocan degenaración en la retina, con lo cual fotorreceptores son dañados. Dicha de-

generación es gradual e involucra a diferentes fotorreceptores dependiendo de que tan avanzada se encuentre la patología en el paciente afectado. Es por ello que dependiendo del estado de la degeneración de la retina, diferentes terapias optogenéticas estarán disponibles. En etapas tempranas de la enfermedad, la actividad puede ser restaurada en conos (células fotosensibles) que carecen de sus segmentos externos. Cuando los conos ya están completamente degenerados se pueden generar fotorreceptores artificiales en las células de la capa nuclear interna (INL), como lo son las células bipolares o células amacrinas. Finalmente en las etapas más avanzadas, una vez que las células bipolares ya no estén presentes, las células ganglionares de la retina podrían ser el objetivo a tratar (Ver Figura 1.3).

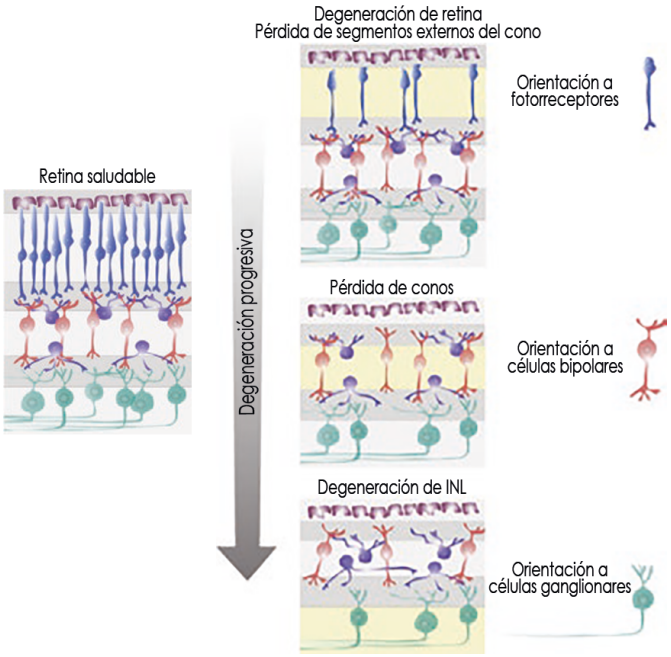


Fig. 1.3: Retina saludable y etapas de degeneración de la retina.

1.1.3. Sistemas de sustitución sensorial

Los sistemas de sustitución sensorial son un enfoque que busca captar de manera artificial algún tipo de información sensorial, luego procesarla y mediante un sistema de acoplamiento, estimular algún sentido humano. En dicho proceso se pueden

identificar tres etapas claves, las cuales se mencionan a continuación.

- **Captación:** Es en esta etapa que se realiza la captación de información sensorial, que hace referencia a tomar la información desde el entorno con la ayuda de diferentes tipos de sensores.

- **Procesamiento:** En esta etapa se procesa la información captada y se transforma a información que pueda ser percibida por un sentido humano.

- **Estimulación:** En esta etapa se estimula un sentido humano con la información ya procesada.

Luego de estas etapas es posible, por ejemplo, que una persona que se encuentre con discapacidad visual, pueda utilizar su sentido de la audición para interpretar la información visual que lo rodea.
En teoría, cualquier sentido humano puede ser utilizado para interpretar información generada con un sistema de sustitución sensorial, no obstante, en la práctica la mayor cantidad de dispositivos fabricados utilizan solamente la audición o el tacto.

2. SISTEMAS DE SUSTITUCIÓN SENSORIAL

El trabajo desarrollado se enmarca dentro de la categoría de sistemas de sustitución sensorial, por ello es relevante detenerse a explicar con mayor detalle su funcionamiento.

Un sistema de sustitución sensorial provee al usuario información del entorno a través de un canal sensorial, ya sea la vista, oído o tacto [5]. Generalmente la información del entorno es enviada por un sistema computacional, el cual previamente procesa información recopilada. Esta información es de naturaleza analógica y en el proceso es digitalizada, entregando finalmente como salida una señal digital (ver Figura 2.1).

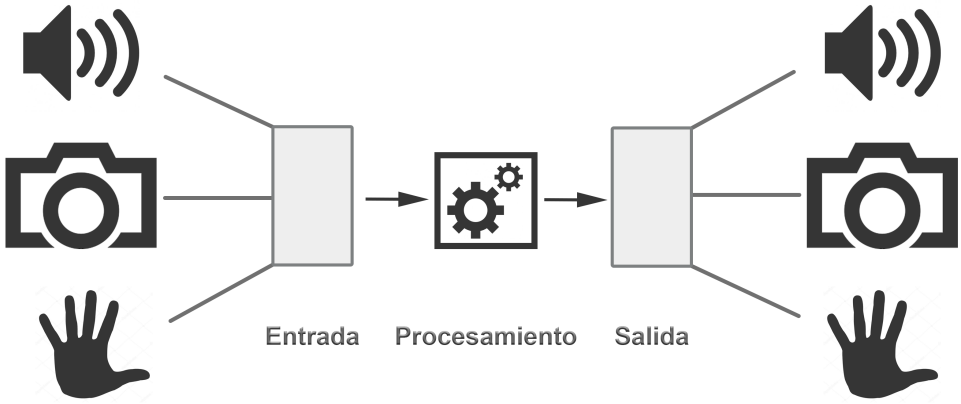


Fig. 2.1: Diagrama funcionamiento sistema de sustitución sensorial.

Dentro de la categoría de sistemas de sustitución sensorial se encuentran principalmente dos tipos de sistemas; los sistemas táctiles y los audibles.

2.1. Sistemas táctiles

Los sistemas táctiles, como su nombre lo sugiere, utilizan el sentido del tacto para poder interpretar la información procesada. Se han desarrollado diferentes dispositivos enfocados a estimular diferentes regiones táctiles del cuerpo humano y empleando diferentes tipos de estimulación.

Ejemplo de ello es Tactile Vision Susbstitution System (TVSS), uno de los primeros intentos y a la vez de los más conocidos, el cual convierte imagen captada por una cámara de video en una representación táctil que estimula la espalda del usuario. Esto es logrado mediante la utilización de estimuladores vibrotáctiles, los cuales son activados con la información proveniente desde la cámara (Ver Figura 2.2)[2, 11, 12].

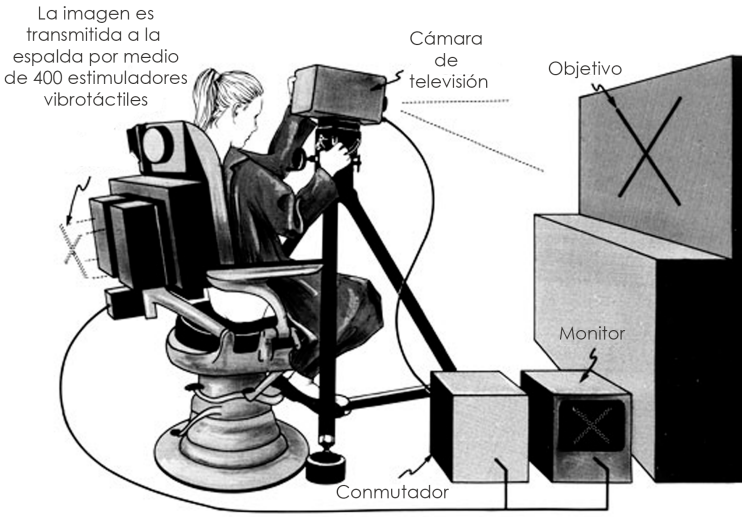


Fig. 2.2: Representación de sistema de sustitución tactil-visual.

El funcionamiento de este dispositivo se basa en estudios realizados con TVSS, en los cuales se ha demostrado que los receptores cutáneos son capaces de llevar información pictórica al cerebro. Lo interesante es que los sujetos con quienes fue puesto a prueba el dispositivo lograron percibir los estímulos como visuales en lugar de simples estímulos cutáneos, lo que sugiere que el sistema nervioso central es capaz de utilizar los mecanismos existentes o de desarrollar nuevos mecanismos para procesar

esta información sensorial. La utilización de receptores cutáneos de la espalda a pesar de la insensibilidad de esta área en relación con otras del cuerpo, se basa en el deseo de interferir lo menos posible con las actividades que realiza una persona habitualmente. Por otro lado los estimuladores vibrotáctiles se ubican en una superficie que está en contacto con la espalda del paciente, creando una matriz de 20×20 con una separación de $1{,}2$ centímetros entre cada estimulador. Son los receptores cutáneos presentes en esta zona los responsables de producir un patrón de impulsos neuronales, los que se llevan al cerebro a través de los nervios aferentes tanto de los folículos capilares como de las terminaciones nerviosas libres.

Finalmente un punto interesante de esta estrategia es que si el concepto de la especificidad del receptor se interpreta estrictamente, se esperaría que la estimulación causada por los estimuladores vibrotáctiles produzca sensaciones cutáneas solamente, sin embargo, después de varias horas de entrenamiento, la sensación percibida es comparable a una visual.

2.2. Sistemas audibles

Los sistemas audibles, como su nombre lo sugiere, utilizan el sentido de la audición para poder interpretar la información procesada. Se han utilizado principalmente para sustituir al sentido del tacto y el de la vista. En el presente documento se profundizará solo en los sistemas visual-audibles.

- vOICE: Tiene como objetivo proporcionar al usuario una visión sintética, mediante una prótesis visual no invasiva. Las principales etapas del funcionamiento del dispositvo vOICE son las siguientes (Ver Figura 2.3)[10, 7].

    1. Capta una imagen con una cámara y la transforma a escala de grises.
    2. Se especifica la resolución de la imagen y con ello la cantidad de pixeles que la componen, de esta forma se obtiene una digitalización de la imagen como una matriz de pixeles.

3. Se convierte a audio la información de cada pixel situado en una columna específica, donde el índice de la fila de cada pixel es el argumento para determinar la frecuencia y por otro lado el brillo se utiliza para determinar la amplitud de la señal acústica.

4. Finalmente se realiza una superposición de todas las señales de audio provenientes de los pixeles de una columna, la cual es la información audible que el usuario recibe. Esto se realiza para cada columna en diferentes tiempos resultando así un barrido de columnas, el que comienza en columna situada más a la izquierda y termina en la columna del extremo derecho.

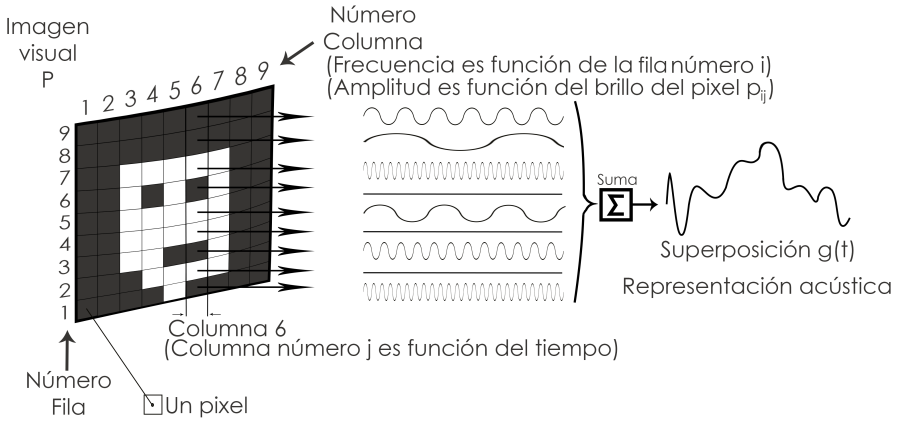


Fig. 2.3: Diagrama de funcionamiento de vOICE

- Prosthesis Substituting Vision with Audition (PSVA): El proceso empleado es similar a vOICE, ya que comparten la etapa 1 y 2 del funcionamiento, sin embargo tienen una notable diferencia en cuanto a la conversión a audio. Las principales etapas del funcionamiento del disposivo PSVA son las siguientes[1].

  1. Tomar la imagen captada con una cámara y la transforma a escala de grises.

  2. Se especifica la resolución de la imagen y con ello la cantidad de pixeles que la componen, de esta forma se obtiene una digitalización de la imagen como una matriz de pixeles.

3. Se convierte a audio la información de cada pixel de la imagen, donde el índice de la fila de cada pixel es el argumento para determinar la frecuencia (entre más arriba se encuentra el pixel dentro de la matriz, más alta la frecuencia), el índice de la columna de cada pixel se codifica como intensidad binaural y diferencias de fase y finalmente el brillo de cada pixel determina la amplitud de la señal acústica.

En cuanto al rango de frecuencias que se utilizan para crear la señal audible, el disposivo PSVA solo utiliza las frecuencias comprendidas entre los 50[Hz] y los 15[KHz], esto dado que son las frecuencias en las que el audífono tiene buenas prestaciones y además porque fuera de ese rango de frecuencia la sensibilidad para escuchar disminuye rápidamente, especialmente para personas de mayor edad. Otro dato interesante es que para las frecuencias superiores a 500[Hz] se utiliza una separación entre frecuencias adyacentes de aproximadamente el 0.7 % del valor de la frecuencia, mientras que para frecuencias inferiores a 500[Hz] se utiliza una separación constante de aproximadamente 3.5[Hz]. Esto dado que con separaciones menores entre las frecuencias utilizadas, el humano no logra discriminar correctamente entre una o la otra.

Otra diferencia importante en comparación con vOICE, es que PSVA otorga una mayor resolución a ciertas zonas de la imagen, esto basado en el hecho de que la cantidad de detalles que percibe una persona por medio de visión normal, es mayor en la zona central de la escena, es por ello que al crear la matriz de pixeles, se otorga mayor densidad en la zona central. A su vez se utilizan diferentes conjuntos de tonos para la zona central y para las zonas periféricas, para ayudar a la mejor discriminación de estas. En la Figura 2.4 se puede observar un ejemplo de una matriz de pixeles, en la que el valor de cada pixel tiene relación con el brillo que posee dicho pixel.

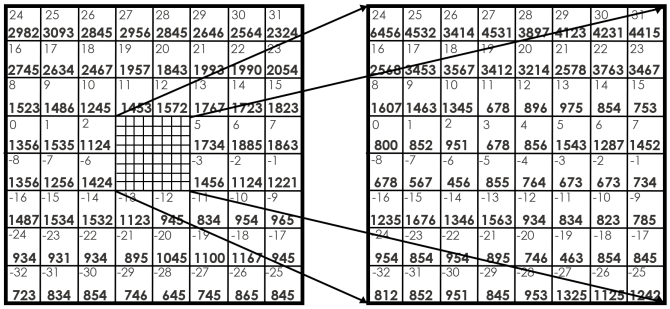


Fig. 2.4: Ejemplo de matriz de pixeles en PSVA

2.3. Caso particular

El trabajo de memoria de título se centra en el desarrollo de una prótesis biomédica de sustitución sensorial visual-auditiva, la cual busca mediante una conversión de información visual a audible, otorgar al usuario características de su entorno, de manera tal, que pueda desplazarse dentro de él y reconocerlo utilizando solo el sentido de la audición. El funcionamiento básico de este tipo de prótesis se acota al uso de un hardware que toma la información visual, luego mediante algún procedimiento computacional transformarla en información auditiva, la cual finalmente pueda ser escuchada por el usuario y de esta manera lograr interpretar mediante la audición la información visual que se encuentra en su entorno cercano (ver Figura 2.5).

Fig. 2.5: Diagrama funcionamiento de sistema de sustitución sensorial visual-auditiva.

Todo esto se enfoca principalmente a que una persona pueda orientarse en su entorno, idealmente en lugares exteriores. No obstante por las limitaciones propias del tiempo, la versión actual le permite al usuario poder reconocer dentro de un ambiente controlado y empleando colores con gran contraste la posición de ciertos objetos, junto con reconocer zonas oscuras, como lo podría ser una puerta abierta de una habitación.

3. DISEÑO Y PROPUESTA

En el presente capítulo se describe en extenso el diseño y propuesta del sistema de sustitución sensorial visual-auditvo realizado, indicando su estructura, limitaciones y su enfoque innovador.

3.1. Requisitos del usuario

Al momento de plantearse el realizar un sistema de sustitución sensorial visual-auditivo orientado a personas con discapacidad visual, nacen ciertas preguntas, cuyas respuestas definen el camino a seguir dentro del desarrollo de este trabajo. Dentro de esas preguntas, las que se listan a continuación son las que tienen relación al usuario.

- ¿Para uso exterior o interior?
- ¿Para qué grado de discapacidad visual?
- ¿Para qué tipo de origen de discapacidad visual?

Con la finalidad de poder enfocar este desarrollo hacia un producto que realmente apoye a personas con esta discapacidad y que les brinde información relevante para ellos, es que se realiza una encuesta a personas con discapacidad visual y es en base a sus opiniones y propios requerimientos que se obtienen las respuestas a las interrogantes recién mencionadas. Dicha encuesta se encuentra en el Anexo 4.
El resultado de dicha encuesta se ejemplifica en la figura 3.1 en la cual se seleciona el foco que tendrá este trabajo y a su vez se argumenta el por qué de cada decisión.

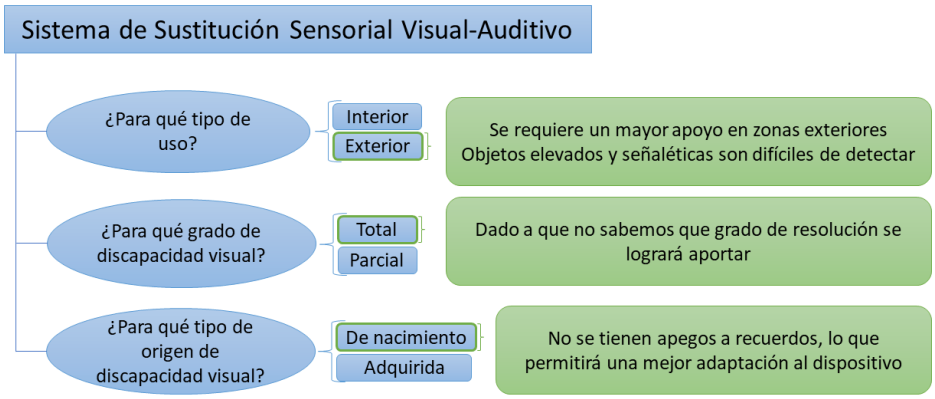


Fig. 3.1: Resumen respuestas obtenidas desde encuestas.

A modo de resumen, se tiene que el sistema de sustitución sensorial será enfocado en un usuario que tenga ceguera total desde su nacimiento, para un uso en exterior, y así lograr un fácil desplazamiento al transitar por veredas. Con esto ya se tiene definido el usuario objetivo, junto con el tipo de escenario en el cual será utilizado.

Por otro lado se deben decidir ciertas interrogantes restantes, las que tienen relación principalmente con el lado técnico. Dentro de esas preguntas, las que se listan a continuación son las que tienen mayor inferencia en el desarrollo del presente trabajo.

- ¿Qué rango de frecuencias?: Para poder responder a esta pregunta es necesario partir respondiendo la siguiente pregunta ¿Qué rango de frecuencias es capaz de escuchar el oído humano?. La respuesta a dicha interrogante es que el oído humano logra escuchar frecuencias que van desde los 20[Hz] hasta los 20000[Hz], ver Figura 3.2 en la que se representa el rango audible para humanos, tal como se encuentra en [1]. No obstante se recomienda utilizar frecuencias que se encuentren desde los 50[Hz] hasta los 15000[Hz], dado que fuera de esas frecuencias la sensibilidad del sistema auditivo decae rapidamente, especialmente para personas adultas en las altas frecuencias. Es por esto que se tiene que las

frecuencias a utilizar deben estar dentro del rango comprendido entre 50[Hz] y los 15000[Hz]. Más adelante se volverá a tocar este tema y se definirá finalmente el rango de frecuencias a utilizar, esto debido a que las siguientes preguntas limitarán dicha decisión.

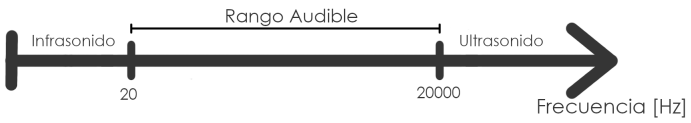


Fig. 3.2: Representación de rango audible en humanos.

- ¿Qué separación entre frecuencias adyacentes?: Para esta interrogante se acude nuevamente a [1]. En él se encuentra que una separación de 3.5[Hz] entre cada frecuencia permite la discriminación del sistema auditivo humano para frecuencias por debajo de los 500[Hz]. Sin embargo, como se verá más adelante, no será necesario utilizar frecuencias tan cercanas, por lo menos, para el desarrollo logrado dentro de este trabajo.

- ¿Utilizar la información de color captada por el sistema?: Esta pregunta se responde principalmente basándose en los alcances que se busca obtener dentro de los tiempos que contempla el trabajo de memoria de titulación. Es por lo anterior que se decide que para esta primera versión de sistema de sustitución sensorial, no se considerará la información referente a colores, ya que se trabajará solo con escala de grises, sin embargo, no se descarta que para próximas versiones se pueda utilizar dicha información y así lograr una mayor calidad en la información entregada al usuario.

- ¿Qué resolución entregará el sistema?: El trabajo se desarrolla estipulando una resolución de 19×14, donde la cantidad de columnas es 19, mientras que las filas son 14. Esta desición es arbitraria y se diseña todo el sistema para que sea fácilmente escalable a resoluciones superiores en futuras versiones.

En este momento ya se cuenta con las principales líneas de desarrollo estipuladas y con ello ya es posible comenzar a definir la propuesta del sistema de sustitución sensorial visual-auditivo.

3.2. Propuesta

El desarrollo del sistema de sustitución sensorial visual-auditivo se divide principalmente en dos partes y esto conlleva que en la práctica se tienen dos programas trabajando en paralelo. Un programa se encarga de la parte visual, mientras que el otro se encarga de la parte auditiva, es por ello que a continuación se analizará cada uno por separado.

3.2.1. Procesamiento visual

Se comienza por estipular que el lenguaje de programación utilizado es Python y que además se utiliza una API de OpenCV para el procesamiento de imágenes. El proceso es simple y se subdivide en cuatro etapas principales; Captar información visual, procesamiento digital de imagenes, extracción de información y comunicación con programa externo, las cuales se proceden a describir en profundidad a continuación.

3.2.1.1. Captar información visual

Para realizar la captura de imágenes, se utiliza una cámara web externa, la que se conecta con el computador mediante usb. Para las pruebas realizadas se utiliza una cámara web marca Logitech modelo Carl Zeiss Tessar HD 1080p, la cual se puede observar en la Figura 3.3. La resolución de las imágenes captadas por dicha cámara es de 640×480 pixeles. La velocidad con que se captan las imágenes se determina arbitrariamente en una cada 0,1 segundos, ya que se considera que dicha velocidad es suficiente para poder otorgar al sistema la información visual necesaria.

Fig. 3.3: Fotografía referencial de cámara web utilizada.

3.2.1.2. Procesamiento digital de imagen

En este punto lo primero que se realiza es la transformación de la imagen a una en escala de grises, dado principalmente, a que de momento no se utilizará información relacionada con los colores. Como resultado de esto se tiene una imagen en escala de grises, por lo que cada pixel contiene un valor numérico comprendido entre 0 y 255 el que equivale a su graduación de gris. El valor 0 corresponde a negro, mientras que el valor 255 a blanco tal como se ejemplifica en la Figura 3.4.

Fig. 3.4: Representación de escala de grises.

Luego de ello se realiza una binarización de la imagen, con la que se transforma la imagen en escala de grises en una nueva imagen en blanco y negro. Para ello se define un valor umbral, en este caso 100, el que determina que si un pixel en escala de grises posee una valor superior a 100, será transformado en un pixel blanco, mientras que si fuese el caso contrario se transforma en una pixel negro. En la Figura 3.5 se representan dos etapas del procesamiento de la imagen, la primera es la transformación a escala de grises, mientras que la segunda es la binarización propiamente tal.

Fig. 3.5: Representación del procesamiento de imagen.

Finalmente se redimensiona la imagen debido principalmente al deseo de reducir la información a manipular en la siguiente etapa. Se considera que reescalar por un factor de 5 es adecuado, no obstante, dicho valor puede ser cambiado con facilidad en caso de ser necesario en futuras versiones. Con esto se finaliza la segunda etapa con una imagen en blanco y negro cuyas dimensiones son 128×96 pixeles.

3.2.1.3. Extracción de información

En esta etapa se realiza una extracción de la información que se estima relevante y que se utilizará posteriormente para poder generar los sonidos audibles para el usuario. En ella como primera acción se sectoriza la imagen resultante de la etapa anterior, dicha sectorización se hace generando un total de 266 zonas, estructuradas acorde a una matriz de 19×14. En la Figura 3.6 se aprecia los resultados de la sectorización de la imagen en blanco y negro . Luego se recorre cada zona y se hace un conteo de la cantidad de pixeles negros que posee cada zona, dicho valor se almacena y posteriormente tendrá directa relación con la amplitud de la onda de sonido generada.

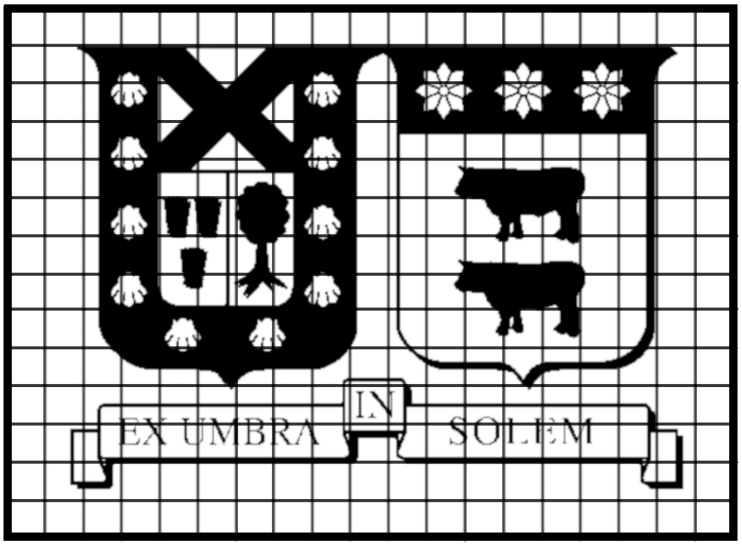


Fig. 3.6: Ejemplo de imagen sectorizada.

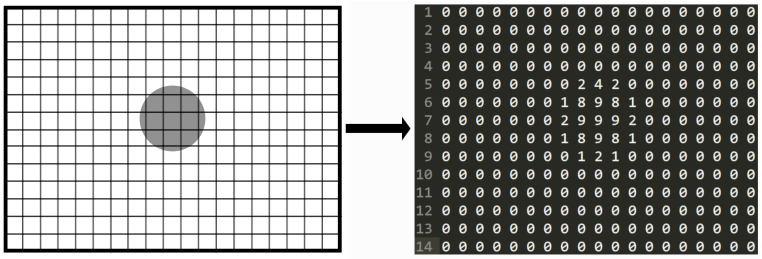
3.2.1.4. Comunicación con programa externo

Esta es la última etapa de este programa y se encarga de poner a disposición del programa encargado de generar los sonidos la información extraída. Esto lo realiza escribiendo en un archivo de texto la información generada. Para ello se escribe en un formato determinado, tal cual se ve en la Figura 3.7, donde cada número es proporcional a la cantidad de pixeles negros contabilizados dentro de cada zona. Adicionalmente para reducir el tiempo en el cual se mantiene abierto el archivo de texto mientras se escribe la información que tendrá dentro del, es que este proceso de escritura se hace al final de todo el procesamiento de la imagen capturada, en el que la información obtenida es almacenada en variables locales, así el archivo de texto es abierto, escrito y cerrado solo en el momento que ya se tiene toda la información que lo compondrá determinada. Así se reduce la probabilidad de que posteriormente se intente abrir el archivo de texto por parte del procesamiento auditivo y que dicho archivo esté siendo escrito.

1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 3.7: Ejemplo de formato de escritura de archivo de texto.

En la Figura 3.8 se muestra un ejemplo ilustrativo de como sería el archivo de texto con la información generada a partir de una imagen de prueba.



1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	8	9	8	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2	9	9	9	2	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	8	9	8	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 3.8: Ejemplo real de escritura de archivo de texto a partir de imagen.

Antes de escribir el archivo de texto se realiza un proceso en el que se determina que solo una zona por cada fila podrá contener un valor diferente a cero, esto se hace con la finalidad de reducir la carga en el momento de generar los sonidos. En la Figura 3.9 se aprecia lo mencionado. Cabe destacar que en base a pruebas se comprobó que dicha reducción en los datos escritos en el archivo de texto no cambia la percepción de los sonidos generados posteriormente.

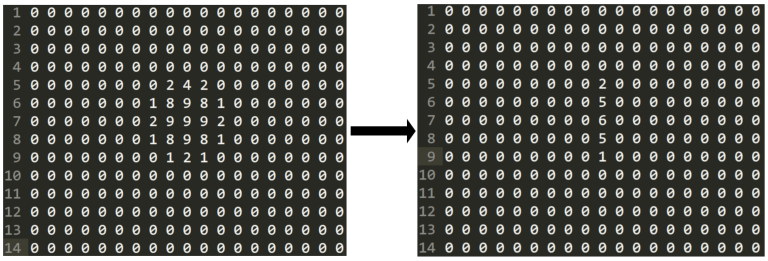


Fig. 3.9: Ejemplo real de reducción de datos en archivo de texto.

3.2.2. Procesamiento auditivo

El procesamiento auditivo se encarga de tomar los datos genereados por el procesamiento visual y en base a ellos generar los sonidos audibles, los que finalmente entregan la información visual al usuario. Dicho proceso se compone principalmente de dos etapas; Lectura de información y generación de sonidos, ambos se explican en detalle a continuación.

3.2.2.1. Lectura de información

El procesamiento visual como última acción se encarga de poner a disposición del procesamiento auditivo la información necesaria para poder generar posteriormente la señal audible deseada. Para ello genera un archivo de texto con el formato ya establecido, el que se puede observar en la Figura 3.7, dichos datos son los que en la presente etapa deben ser leídos.

Para esto se debe tener cuidado respecto a no tener conflictos de apertura simultánea del archivo de texto entre ambos procesos o de intentar abrir el archivo justo en el momento en que el procesamiento visual se encuentra escribiendo. Es por ello que al momento de intentar abrir el archivo de texto se verifica que cuente con el contenido esperado, la cantidad de datos y estructura que se espera recibir, de lo contrario se concluye que ha habido un problema en la lectura y se intenta leer nuevamente el archivo hasta poder acceder de manera correcta a su contenido, así se eliminan con-

flictos en la lectura de la información, haciendo que el procesamiento auditivo espere hasta que el procesamiento visual termine de escribir el archivo de texto, para recién en ese momento extraer la información que fue escrita.

3.2.2.2. Generación de sonidos

La generación de sonidos posee principalmente dos características, la primera es que cada fila dentro de la matriz de datos leída estará asociada a una única frecuencia y cada columna dentro de cada fila será asociada a una posición horizontal que se creará en la generación de cada sonido. Lo anterior se ejemplifica en la figura 3.10 en la que se muestra un ejemplo con una matriz de 7×7, donde se tiene una frecuencia para cada fila, en la cual $f1$ corresponde a la menor frecuencia utilizada, mientras que $f7$ es la mayor. A su vez cada columna tiene asociada una posición horizontal, la cual se mide en ángulos respecto de la cabeza del oyente, dichos valores son negativos para posiciones situadas a la izquierda de la persona y positivos para posiciones a la derecha.

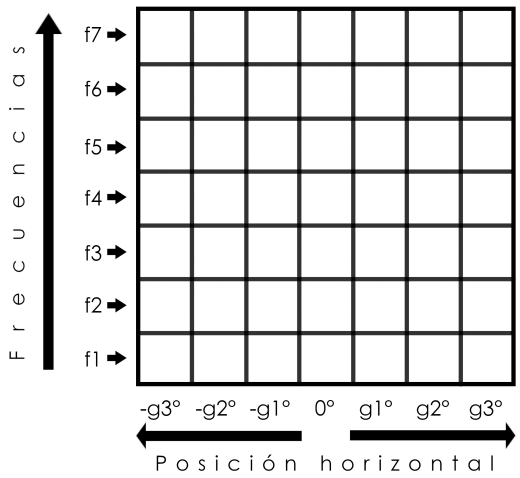


Fig. 3.10: Ejemplo de matriz 7x7 para la generación de sonidos.

La sensación de posición horizontal se logra utilizando herramientas propias del lenguaje de programación CSound, principalmente empleando una herramienta llamada Head Related Transfer Function (HRTF). Esta función de transferencia modifica

digitalmente una señal de audio para poder generar las mismas modificaciones que sufre una onda de sonido cuando se programa desde la fuente de sonido hasta los oídos. Dentro de los responsables de estas transformaciones se encuentran la difracción y refracción que sufre la onda de sonido en partes del cuerpo, principlamente en la cabeza, orejas, hombros y torso, tal como se encuentra en [4]. Como consecuencia la onda de sonido sufre cambios en magnitud, fase y atenuaciones selectivas en frecuencia, esto de manera diferente para el oído izquierdo y el derecho, en la Figura 3.11 se muestra una representación visual de como para cada oído, la onda de sonido es modificada de diferentes formas.

Así con el uso de la HRTF se logra crear una ilusión de sonido espacialmente localizado. Todos estos efectos son hechos de manera digital por CSound, logrando de esta manera hacer creer al cerebro que el sonido viene desde un punto específico, aunque en realidad proviene desde los mismos auriculares ubicados estáticamente en los oídos del usuario. De esta forma se logra generar las diferentes posiciones horizontales que son requeridas en esta etapa.

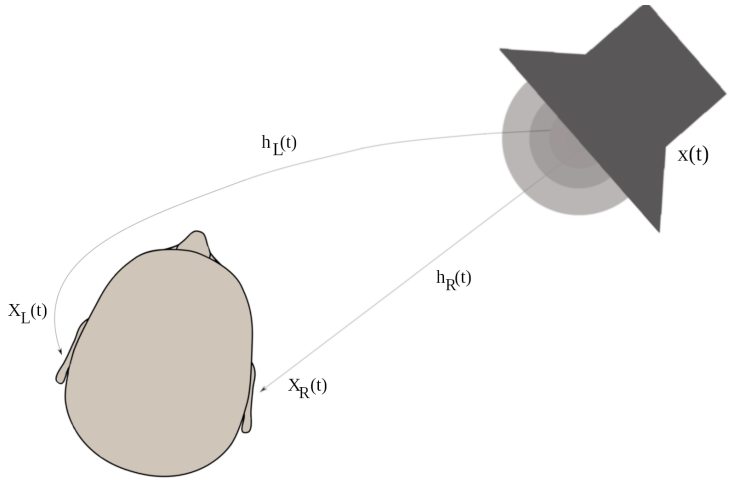


Fig. 3.11: Representación de modificación de señal audible dependiendo el oído.

Para la generación de sonidos ya fue establecido cierto margen de operación el

cual hay que respetar, es decir, utilizar frecuencias entre los 15[Hz] y los 15000[Hz], junto con una separación entre frecuencias adyacentes mayor a 3.5[Hz]. No obstante dada que la cantidad de sonidos que se emplearán en este prototipo requiere solo 14 frecuencias diferentes, no se presentan grandes complicaciones para cumplir con dichos parámetros.

Las frecuencias a emplear se definen siguiendo la estructura que provee la escala de Do Mayor en la teoría musical y para este caso se utilizan dos octavas consecutivas de dicha escala, partiendo desde la frecuencia de 261.626[Hz] que corresponde a un Do y terminando en la frecuencia 987.328[Hz] correspondiente a un Si. Esto con la finalidad de que los sonidos generados sean agradables al oído humano junto con ser más fácilmente reconocibles por el mismo.

La cantidad de ángulos horizontales posibles se establece en 19, empezando por un ángulo de -90ºy terminando en 90ºcon una separación entre ángulos de 10º. Todo ello se ejemplifica en la figura 3.12, en la que se puede observar la matriz correspondiente al prototipo actual, contando con 19 columnas y 14 filas.

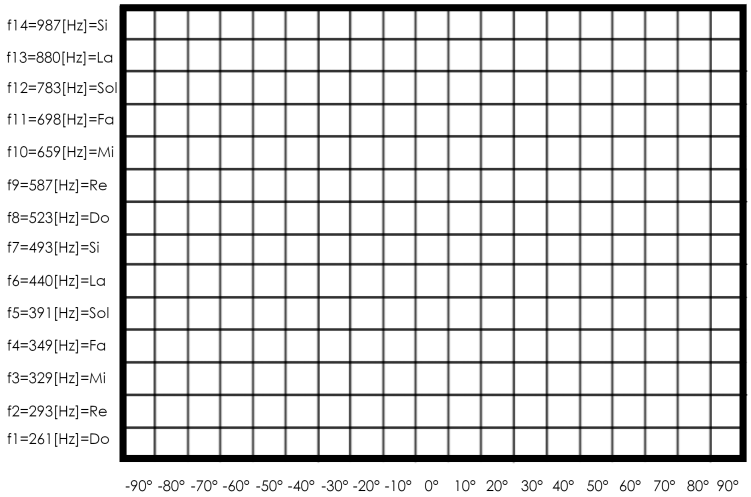


Fig. 3.12: Matriz de 19x14 para la generación de sonidos.

De esta manera se logra generar los sonidos a partir de los datos que contiene el

archivo de texto escrito por el procesamiento visual.

3.3. Pruebas de funcionamiento

Se llevan a cabo diferentes pruebas de funcionamiento, con la finalidad de lograr medir los tiempos que le toma a usuarios realizar diferentes labores. Dichas pruebas se realizan en un ambiente controlado, utilizando un notebook, una cámara web y unos audífonos. El lugar en el que se realiza las pruebas es una habitación cuya pared es blanca sobre la cual se posicionarán diferentes trozos de cartulina color negro. El notebook se emplea para ejecutar los códigos desarrollados. La cámara web se ancla a los audífonos tal como se observa en la Figura 3.13, de esta manera al mover la cabeza se está moviendo la cámara web y así se asocia el cambio de cuadro visual captado por la cámara con el movimiento de la cabeza del usuario.

Fig. 3.13: Fotografía de conjunto cámara-audífonos.

Como primer acción se capacita a los usuarios, explicándoles el funcionamiento del sistema de sustitución sensorial visual-auditivo, así comprenden cómo se pasa desde la información visual a la auditiva y con ello ya son capaces de interpretar de manera correcta los diferentes estímulos auditivos que recibirán al momento de las pruebas. Luego de esto se les posiciona frente al lugar de prueba, se les venda los ojos y se le equipa con los audífonos.

3.3.1. ***Prueba 1:*** *Identificación de objetos*

En esta prueba se evalúa la capacidad de detectar pequeños objetos posicionados frente al usuario. Para ello se posiciona al usuario frente a una pared la cual cuenta con un fondo blanco y pequeñas formas en negro ubicadas en diferentes posiciones desconocidas por el usuario. Se le pide al usuario que trate de identificar la posición de estas formas y se evalúa si se logra la correcta detección de posición junto con el tiempo que le toma detectarla.
El campo visual del usuario divide en 9 zonas, tal cómo se aprecia en la Figura 3.14, así el usuario debe entregar como respuesta la posición en la que cree que se encuentra el o los objetos. Una vez dada su respuesta se toma nota del tiempo que demoró y si su respuesta es acertada o no. Esto se realiza con 1 objeto, luego con 2 objetos y finalmente con 3 objetos, repitiéndose el experimento 5 veces.

Fig. 3.14: Diagrama demostrativo de división de campo visual en 9 zonas.

3.3.2. ***Prueba 2:*** *Identificación de zonas*

En esta prueba se evalúa la capacidad de objetos de mayor tamaño, los cuales ocupan una zona en el campo visual del usuario. Para ello se posiciona al usuario frente a una pared la cual cuenta con un fondo blanco en el que se ubica el objeto negro en diferentes zonas desconocidas por el usuario. Se pide al usuario que intente identificar la ubicación de estas zonas y se evalúa si se logra la correcta detección de la ubicación junto con el tiempo que le toma. El campo visual del usuario divide en 4 zonas, tal cómo se aprecia en la Figura 3.15, así el usuario debe entregar como respuesta la posición en la que cree que se encuentra el o los objetos. Una vez dada su respuesta se toma nota del tiempo que demoró y si su respuesta es acertada o no, esto es repetido 5 veces.

Fig. 3.15: Diagrama demostrativo de división de campo visual en 4 zonas.

3.4. Resultados

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento se logra recopilar los tiempos correspondientes a cada prueba los cuales se representan en una tabla que se encuentra en la Tabla .1. En ella se encuentran los tiempos que demoró cada usuario en dar la respuesta a cada prueba junto con la cantidad de aciertos representados con el símbolo de chequeado o de errores representados por una cruz. La cantidad de aciertos depende de la prueba realizada, llegando a un máximo de tres aciertos en la prueba número uno realizada con tres objetos.

Luego de realizadas las diferentes pruebas de funcionamiento se aprecia que la totalidad de los usuarios logran llevar a cabo de manera exitosa al menos en una ocasión cada prueba realizada, lo que consolida la efectividad del prototipo desarrollado. Respecto a la dificultad de uso del prototipo, se observa que es de fácil uso, ya que con una breve capacitación, todos los usuarioss logran entender su funcionamiento, lo que les permite usar el dispositivo sin mayores problemas.

Durante la realización de las diferentes pruebas de funcionamiento, se percibe por los usuarios que a mayor tiempo de uso se vuelve más fácil realizar las pruebas, sin embargo, también se observa un cansancio en los usuarios luego de un tiempo muy

prolongado de uso. Esto último se atribuye principalmente al esfuerzo mental que se realiza para en definitiva asociar a un sonido una representación visual de la escena captada por la cámara.
Finalmente se considera que los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que el prototipo es funcional y a la vez cumple con las expectativas previas al desarrollo.

3.5. Limitaciones

Dentro de las limitaciones del prototipo desarrollado se puede identificar en primera instancia que solo presenta un buen funcionamiento al ser utilizado en el ambiente de pruebas ya mencionado, esto se debe principalmente porque el procesamiento digital de las imágenes captadas ha sido desarrollado en esta primera versión para un uso limitado al escenario de pruebas.

Por otro lado se evidencia que el prototipo no logra entregar información relacionada con la forma de los objetos detectados. No obstante esto es esperable ya que los esfuerzos en el desarrollo no fueron enfocados en abarcar dicha área.

Finalmente el necesitar de un computador para poder hacer funcionar el prototipo, limita la movilidad del usuario.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo de memoria de titulo se inicia buscando dar apoyo ingenieril a una área de la salud apartada de los principales desarrollos médicos, en dicho camino es que se decide enfocar los esfuerzos en desarrollar un sistema de sustitución sensorial visual-auditivo para dar apoyo a personas que sufren de discapacidad visual, logrando así crear con éxito un primer prototipo que cumple con lo deseado.

Las directrices establecidas de manera previa al inicio de los trabajos fueron las siguientes; Enfocar el dispositivo a personas que cuyo nivel de dispacidad visual es total y para un uso en exteriores, brindándoles así apoyo en actividades de desplazamiento, las cuales resultan ser de las actividades cotidianas más limitantes para sus vidas.

Dentro de los principales logros alcanzados se encuetran el desarrollo de dos programas informáticos, uno que se encarga del procesamiento digital de imágenes y un segundo que se ocupa del procesamiento auditivo, componiendo en conjunto el prototipo creado. Si bien ambos programas están hechos para determinados parámetros definidos, fueron realizados incorporando la capacidad de escalabilidad, de esta manera se permite que futuros trabajos puedan partir desde aquí para dar más robustez al trabajo realizado.

Los resultados obtenidos son realmente satisfactorios, ya que luego de realizadas las pruebas de funcionamiento se confirma que el prototipo desarrollado es funcional.

Dentro del contexto de innovación se logran dos factores principales que lo diferencian de otros diseños. El primero es la utilización de zonas de pixeles, lo cual permite relacionar la amplitud de la señal acústica generada con la cantidad de pixeles negros dentro de dicha zona, lo que se traduce en poder generar una señal de sonido

que agrupe características de un grupo de pixeles . El segundo es la utilización de frecuencias pertenecientes a escalas musicales para la producción de los sonidos, esto permite que los sonidos generados sean mucho más agradables al oído humano, mejor reconocibles y más fáciles de memorizar con un uso prologando del prototipo.

Las proyecciones son bastantes prometedoras y a continuación se mencionan las cuatro más relevantes:

- Aumento de resolución en lo audititvo: Generar una mayor cantidad de sonidos, ya sea verticalmente añadiendo más frecuencias u horizontalmente añadiendo más cantidad de ángulos. Esto permitiría al usuario poder recibir mayor cantidad de detalles provenientes de la información visual procesada.

- Mejora en procesamiento visual: El prototipo actual reescala las imágenes capturadas y las convierte en una imagen en blanco y negro, perdiendo así información referente a colores. Esto podría ser utilizado en futuras versiones, aportando así una mayor cantidad de información ha ser procesada y con ello entregando al usuario una información auditiva más rica en detalles visuales.

- Cambio de resolución parcial: El prototipo desarrollado no hace diferencia alguna en el procesamiento de la información proveniente de la zona central del campo visual con respecto a las zonas periféricas. Una mayor resolución en la zona central es una opción de desarrollo futuro, lo que podría permitir abrir el campo de utilización del prototipo, considerando incluso su utilización en labores que requieran mayor agudeza visual, como lo podría ser la lectura de documentos.

Bibliografía

[1] C. Capelle, C. Trullemans, P. Arno, and C. Veraart. A real-time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 45(10):1279–1293, Oct 1998. 13, 17, 18

[2] C. C. Collins. Tactile television - mechanical and electrical image projection. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11(1):65–71, March 1970. 11

[3] Olivier Goureau, Christelle Monville, Antoine Chaffiol, Gregory Gauvain, Serge Picaud, Jens Duebel, and José-Alain Sahel. *Retinal Prostheses: Other Therapies and Future Directions*, pages 105–125. Springer International Publishing, 2018. 7

[4] Benedikt Grothe, Michael Pecka, and David McAlpine. Mechanisms of sound localization in mammals. *Physiological Reviews*, 90(3):983–1012, 2010. 26

[5] K. A. Kaczmarek, J. G. Webster, P. Bach y Rita, and W. J. Tompkins. Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(1):1–16, 1991. 10

[6] Henri Lorach, Olivier Marre, José-Alain Sahel, Ryad Benosman, and Serge Picaud. Neural stimulation for visual rehabilitation: Advances and challenges. *Journal of Physiology-Paris*, 107(5):421 – 431, 2013. Special issue: Neural Coding and Natural Image Statistics. 5, 6

[7] P. B. L. Meijer. An experimental system for auditory image representations. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 39(2):112–121, Feb 1992. 12

[8] Donatella Pascolini and Silvio Paolo Mariotti. Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5):614–618, 2012. II, III, 5

[9] James H. Rimmer and David Braddock. Health promotion for people with physical, cognitive, and sensory disabilities: An emerging national priority. *American Journal of Health Promotion*, 16(4):220–224, 2002. II, III

[10] Jamie Ward and Peter Meijer. Visual experiences in the blind induced by an auditory sensory substitution device. *Consciousness and Cognition*, 19(1):492 – 500, 2010. 12

[11] B. W. White. Perceptual findings with the vision-substitution system. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11(1):54–58, March 1970. 11

[12] P. Bach y Rita. Neurophysiological basis of a tactile vision-substitution system. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11(1):108–110, March 1970. 11

Apéndice

ANEXO A
Encuesta y respuestas

Cuestionario	
Nº	Pregunta
1	¿Cuál es su edad?
2	¿Qué tipo de ceguera tiene?
3	¿Cuál es la causa de ceguera?
4	¿Desde cuándo tiene ceguera?
5	¿Vive solo o acompañado?
6	¿Dentro de su domicilio realiza sus actividades de manera autónoma?
7	¿Al salir de la casa, lo hace solo o acompañado?
8	¿Cuál es su ocupación u oficio?
9	¿Dentro de las actividades cotidianas, cuáles presentan mayor nivel de dificultad?
10	¿Realiza actividades deportivas o recreacionales?
11	¿Qué actividades le gustaría realizar pero no puede debido a su discapacidad visual?
12	¿Alguna experiencia personal que desee compartir?

Respuestas persona nº1	
Nº	Respuesta
1	24 años.
2	Ceguera total.
3	Negligencia médica. Nació prematura, por ello los doctores la trasladaron a una incubadora con el objeto de desarrollar los pulmones y demás órganos, pero en ese proceso no le fueron vendados los ojos y el exceso de oxígeno quemó su córnea, la retina y el nervio óptico.
4	Practicamente desde su nacimiento.
5	Acompañada.
6	La mayoría de las veces realiza las actividades domésticas con total independencia.
7	Habitualmente sale de casa sola.
8	Estudiante universitaria. Estudia una licenciatura en periodismo.
9	Es complejo realizar costuras y clasificar prendas por colores. Manejar electrodomésticos digitales como lavadoras y microondas se le dificulta, pero los adecúa poniéndoles Braille, con ello logra utilizarlos bien, aunque piensa que lo más indicado sería que éstos viniesen así de fábrica. También le es costoso poder identificar el dinero cuando es en papel.
10	No.
11	No.
12	Cree que las actividades domésticas no se hacen difíciles por la discapacidad visual, sino que porque las personas cercanas, familias o compañeros de hogar, muchas veces limitan el aprendizaje de las mismas.

Respuestas persona nº2	
Nº	Respuesta
1	96 años.
2	Prácticamente total, solo logra detectar presencia de luz aveces.
3	Cataratas.
4	Hace 24 años.
5	Vive en un lugar para ancianos.
6	Las actividades personales las realiza solo, las orientadas a labores domésticas se las realizan.
7	No sale.
8	Se dedica a escribir poesía en su tiempo libre.
9	Ninguna de las que realiza
10	No
11	Ninguna en especial
12	Utiliza bastón para guiarse al caminar, un celular con reconocimiento de voz para poder realizar llamadas y un reloj que le dice la hora al presionar un botón. Estas son sus principales herramientas para el día a día.

Respuestas persona nº3	
Nº	Respuesta
1	24 años.
2	Tiene ceguera parcial, logra distingir ciertos objetos, la oscuridad y con gran dificultad colores.
3	Retinosis pigmentaria desde nacimiento.
4	Desde su nacimiento.
5	Vive con sus padres y hermano.
6	Dentro de su casa realiza la mayoría de sus actividades de manera independiente.
7	Generalmente sale de su casa acompañada.
8	Se dedica a vender ropa. Intentó estudiar una carrera universitaria, pero no logró terminarla, principalmente por la poca accesibilidad en su escuela de estudios y por falta de capacitación de los maestros.
9	Cocina es de lo más dificil de realizar ya que le genera mucho miedo quemarse.
10	Le gusta salir de excursión con amigos, novio y su mascota. Pasear a caballo es de sus actividades preferidas, no obstante dada su discapacidad visual siempre lo debe hacer con la compañía de alguien.
11	Nada en especial.
12	No.

Respuestas persona nº4	
Nº	Respuesta
1	34 años.
2	Total.
3	Fué causada por trabajos con soldadura, los cuales le dañó los nervios ópticos.
4	Lleva 9 años con ceguera total.
5	Vive acompañado de su esposa que también es ciega.
6	Realiza las actividades dentro de su casa de manera independiente.
7	Habitualmente sale de su casa solo o acompañado de su esposa.
8	No especificado.
9	El desplazamiento por las veredas es de lo más difícil, principalmente por objetos que no logra detectar. Tomar la locomoción pública le es complejo dada la imposibilidad de reconocer la micro que debe tomar.
10	No.
11	Le gustaría trabajar en una empresa sin ser discriminado ni excluido por ser ciego.
12	Cree que no hay actividad que no pueda realizar por su discapacidad visual, solo es cuestión de que las personas le den la confianza y le permitan desenvolverse como cualquier otra persona.

Respuestas persona nº5	
Nº	Respuesta
1	42 años.
2	Total.
3	Desprendimiento de retina.
4	Hace 12 años.
5	Vive acompañado por sus padres.
6	Realiza actividades dentro de su casa de manera independiente.
7	Generalmente lo hace solo.
8	No especificado.
9	Tomar la micro es una tarea difícil, ya que depende de otras personas para poder identificar el recorrido de la micro. Manejar un vehículo es otra actividad que cree que no puede realizar por ser ciego, aunque lo ha hecho con supervisión y ayuda de alguien.
10	No.
11	Le gustaría poder nadar o trotar.
12	Cree que puede realizar cualquier actividad que no sea dependiente de la vista. Esto dado que existen técnicas que se van adecuando a las necesidades de cada personas y a pesar de existir actividades que se le hacen más difíciles, siempre logra realizarlas con calma.

Respuestas persona nº6	
Nº	Respuesta
1	40 años.
2	Total.
3	Hidrocefalia.
4	Quedó ciega a los 2 años.
5	Vive acompañada de su madre y familiares cercanos.
6	En su casa realiza todas sus actividades cotidianas sola. Cocinar le da miedo, por ello no la utiliza.
7	Generalmente se desplaza acompañada en el exterior.
8	Trabaja como Operadora en centro de llamadas.
9	Cocinar es muy difícil, tanto que no se atreve a realizarlo. En el desplazamiento por las calles las mayores dificultades se encuentran al cruzar las calles, detectar agujeros, posas con agua y objetos en elevación.
10	No.
11	No especificado.
12	Para moverse dentro de las dependencias de su trabajo utiliza un manojo de llaves, el cual hace sonar y dicho sonido va cambiando a medida que se desplaza, así logra identificar en qué lugar. Cree que una buena idea podría ser utilizar un altavoz en vez de audífonos. También que no hay problemas con utilizar audífonos mientras que no obstruya del todo el ruido ambiental y si lo obstruye en parte, que se capaz de entregar información para suplir la información que pierde y obtenerla por medio de la prótesis.

Respuestas persona nº7	
Nº	Respuesta
1	50 años.
2	Parcial.
3	Nació con retinitis y desde los 7 años le informaron que iba a perder la vista en algún momento de su adultez.
4	Desde su nacimiento tuvo discapacidad visual, pero es desde hace 10 años que ya no logra ver nada.
5	Acompañada por su pareja.
6	Realiza todas sus actividades sola dentro de su casa.
7	Habitualmente sale sola de su casa y toma taxis para desplazarse por la ciudad.
8	Es dueña de casa y se hace cargo de labores domésticas como el aseo, orden y lavado.
9	Sus mayores dificultades están al cocinar por el uso del fuego. También los utensilios cortantes son complejos de manipular. Desplazarse en las calles caminando le es complicado, principalmente porque cuesta mucho detectar letreros o agujeros, autos mal estacionados y los cruces de calles.
10	No.
11	Cree que la ceguera le impide realizar actividades que impliquen desplazamiento autónomo, tanto dentro como fuera del hogar, en su caso suele moverse en taxi, pero esto tiene un costo muy alto y por ello se limita a hacer todo lo que quiesiera.
12	No

Respuestas persona nº8	
Nº	Respuesta
1	26 años.
2	Total.
3	Retinoblastoma biocular y cancer al ojo.
4	Nació con problemas a la vista pero veía. Desde los 6 años que es completamente ciego.
5	Vive acompañado.
6	Realiza las actividades dentro de la casa de manera independiente
7	Habitualmente sale de la casa acompañado.
8	Trabaja en una consultoría de software, es egresado de Ingeniería en computación de la Universidad Católica.
9	Cualquier actividad que tenga movilidad se complica, también cuando debe trabajar con elementos más gráficos que conceptuales, a su vez el trabajo con compañeros en los estudios o trabajo le es dificultoso. En su hogar manipular objetos calientes es complejo. Por lo general todo el tema de desplazamiento es un problema, tanto por una cuestión psicológica y por inseguridad, siempre ha sido la barrera más grande que ha querido superar.
10	No.
11	Manejar cualquier tipo de vehículo de manera independiente son actividades que no puede realizar por su ceguera. Andar en bicicleta con guía es posible. Ambas le gustaría poder realizar con mayor normalidad.
12	Cree que la ayuda debe ser dirigida al desplazamiento, ya que es lo que más le ha costado sobrellevar. Lo otro seria poder jugar varios videojuegos que no son accesibles.

Respuestas persona nº1	
Nº	Respuesta
1	19 años.
2	Parcial con un grado de visión de 5 entre 100.
3	Enfermedad no especificada que repercutió en su visión.
4	Tiene discapacidad visual desde los 10 años, aunque el grado ha ido en aumento con el tiempo.
5	Acompañada.
6	Realiza generalmente de manera autónoma las actividades dentro de su casa.
7	Habitualmente sale de la casa sola.
8	Ninguno.
9	En su etapa de escolaridad los estudios tuvieron una gran complejidad, principalmente porque el sistema educativo no estaba realmente preparado para poder enseñar a alguien con discapacidad visual. Cruzar las calles, detectar con antelación letreros, postes o objetos imprevistos como autos mal estacionados se transformanen obstáculos imposibles de sortear con éxito.
10	No.
11	Nada en específico.
12	No.

Respuestas persona nº9	
Nº	Respuesta
1	15 años.
2	Ceguera total, ve absolutamente nada.
3	Retinoplastía.
4	Es ciego desde los cuatro años.
5	Vive acompañado por sus padres.
6	Dentro de la casa realiza todas sus actividades de manera autónoma.
7	Lo realiza generalmente solo desplazándose por la ciudad de Santiago utilizando transporte público.
8	Estudiante de educación superior.
9	Lo que presenta mayor dificultad es el traslado en el exterior. Detectar objetos elevados como señaléticas o ramas de árboles es compliicado y por lo general no logra detectarlos con antelación. Cruzar las calles es siempre un desafío, principalmente por la falta de señales audibles en los semáforos. Caminar cuando está lloviendo le es complejo, ya que no logra identificar posas de agua y flujos de agua. Lograr identificar la micro que debe tomar es un desafío, dado que depende de que se encuentren más personas en el paradero para poder averiguar el número de recorrido de la micro que se encuentra detenida.
10	Juega futbol para ciegos hace tres años, participando en diferentes campeonatos internacionales.
11	Le gustaría poder tocar la guitarra y jugar tenis. No realiza actividades de cocina dado que en su momento lo intentó y se quemó, por ello es una actividad que le genera miedo y que le gustaría poder llegar a realizar en algún momento.
12	En general cree que tiene una vida bastante normal, ya que pocas veces se ha sentido limitado a no poder hacer cosas. Piensa que el oído es fundamental para él, asún así cree que no habría problema con utilizar audífonos, ya que habitualmente lo hace para escuchar música mientras se desplaza. Por ello mientras el sonido proveniente de los audífonos no obtruya por completo el sonido del ambiente, no habría problemas. El aire también le ayuda a orientarse, ya que lo siente y con ello identifica obstáculos. También le permite identificar diferencias en las edificaciones cercanas, por ejemplo al ir caminando por una vereda sabe cuando hay una muralla de una casa o cuando hay una ventana.

ANEXO B
Resultado de pruebas de funcionamiento

	Prueba 1			Prueba 2
	1 Objeto	2 Objetos	3 Objetos	1 Zona
Usuario 1	0:45 ✓	2:11 ✓✓	5:20 ✓✓✗	0:18 ✓
	0:41 ✓	3:30 ✓✓	2:20 ✓✓✓	0:18 ✓
	0:40 ✓	1:54 ✓✓	3:00 ✗✗✓	0:50 ✓
	1:01 ✗	2:21 ✓✗	3:18 ✓✓✗	0:15 ✓
	2:30 ✗	1:24 ✓✗	1:23 ✓✗✗	0:16 ✓
Usuario 2	1:11 ✓	0:59 ✓✓	3:42 ✓✓✗	0:12 ✓
	0:46 ✓	0:55 ✓✓	2:40 ✓✓✓	0:14 ✓
	0:52 ✓	1:30 ✓✗	2:13 ✓✓✗	1:40 ✗
	0:55 ✓	0:52 ✓✓	3:25 ✗✓✓	0:16 ✓
	0:54 ✓	4:00 ✓✓	5:37 ✓✓✗	0:43 ✓
Usuario 3	1:20 ✗	1:41 ✓✓	3:19 ✓✓✗	0:41 ✓
	1:17 ✓	1:02 ✓✓	2:21 ✓✗✓	0:48 ✓
	0:52 ✓	2:07 ✗✓	1:59 ✓✓✓	0:21 ✗
	0:58 ✓	1:30 ✓✓	3:40 ✓✓✗	0:35 ✓
	0:28 ✗	2:28 ✓✗	2:34 ✓✓✓	0:15 ✓
Usuario 4	1:50 ✓	2:54 ✓✓	3:40 ✓✓✗	1:11 ✓
	2:15 ✓	3:11 ✓✗	2:56 ✓✗✓	0:59 ✓
	2:33 ✓	3:28 ✓✓	4:16 ✓✗✗	0:47 ✓
	1:24 ✓	2:11 ✓✓	3:07 ✓✓✗	1:28 ✓
	1:39 ✓	1:32 ✓✓	2:59 ✓✓✓	0:51 ✓
Usuario 5	0:41 ✗	1:27 ✓✓	4:38 ✓✓✗	0:36 ✓
	0:59 ✓	0:48 ✓✗	3:46 ✓✓✓	0:31 ✓
	1:20 ✓	1:06 ✗✓	2:41 ✓✗✓	0:40 ✓
	2:07 ✓	2:29 ✓✓	4:33 ✓✓✓	1:07 ✓
	0:51 ✓	2:07 ✓✓	2:27 ✓✗✗	0:40 ✓
Usuario 6	3:09 ✓	3:24 ✓✗	5:01 ✓✗✗	1:41 ✓
	2:43 ✓	3:58 ✓✓	4:17 ✓✗✓	0:59 ✓
	3:27 ✗	2:31 ✓✗	3:48 ✓✓✓	1:27 ✓
	4:10 ✓	2:52 ✓✓	4:26 ✓✗✗	0:31 ✗
	2:12 ✓	4:19 ✓✓	4:48 ✓✗✓	1:06 ✓
Usuario 7	1:17 ✗	1:59 ✓✓	4:26 ✓✗✗	1:26 ✓
	1:58 ✗	1:38 ✓✓	4:47 ✓✗✓	1:03 ✓
	0:49 ✗	1:16 ✓✗	5:19 ✗✗✗	0:23 ✗
	0:43 ✓	2:23 ✓✗	3:26 ✓✗✓	0:55 ✓
	0:36 ✓	1:40 ✓✓	4:58 ✓✓✓	1:20 ✓
Usuario 8	1:29 ✓	2:23 ✓✓	4:40 ✓✓✗	1:40 ✓
	1:18 ✓	2:03 ✓✓	5:19 ✓✓✓	1:25 ✓
	0:43 ✓	1:41 ✓✓	4:23 ✓✓✓	1:00 ✓
	1:30 ✓	1:06 ✓✓	3:57 ✓✗✗	0:47 ✓
	1:11 ✓	1:38 ✓✓	3:28 ✓✓✓	1:14 ✓

Tab. .1: Resultados de pruebas de funcionamiento.