



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ORIENTADA A
PERSONAS NO VIDENTES PARA BRINDAR ACCESIBILIDAD A
EXPRESIONES MATEMÁTICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
AUDIO TRIDIMENSIONAL**

AUTOR: DOMÍNGUEZ URREA, HERNÁN FELIPE

DIRECTOR: ING. LARCO BRAVO, JULIO CÉSAR

SANGOLQUÍ

2018

CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ORIENTADA A PERSONAS NO VIDENTES PARA BRINDAR ACCESIBILIDAD A EXPRESIONES MATEMÁTICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE AUDIO TRIDIMENSIONAL**” realizado por el señor **DOMÍNGUEZ URREA, HERNÁN FELIPE**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditarlo y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de agosto de 2018

Firma:

Ing. Julio Cesar Larco Bravo

C.C.: 1710638808

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DOMÍNGUEZ URREA, HERNÁN FELIPE**, declaro que este trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ORIENTADA A PERSONAS NO VIDENTES PARA BRINDAR ACCESIBILIDAD A EXPRESIONES MATEMÁTICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE AUDIO TRIDIMENSIONAL”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí, 15 de agosto de 2018

Firma:

Hernán Felipe Domínguez Urrea

C.C.: 1714152251

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **DOMÍNGUEZ URREA, HERNÁN FELIPE** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN ORIENTADA A PERSONAS NO VIDENTES PARA BRINDAR ACCESIBILIDAD A EXPRESIONES MATEMÁTICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE AUDIO TRIDIMENSIONAL”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de agosto de 2018

Firma:

Hernán Felipe Domínguez Urrea

C.C.: 1714152251

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud para poder ir escalando cada peldaño propuesto, por ayudarme a lograr de a poco los objetivos propuestos para mi vida personal y profesional.

A mis padres Hernán y Kathy, por el apoyo incondicional para seguir adelante en cada etapa de mi vida sin dejar que me de por vencido por mas gran adversidad que se presente, por brindarme su amor incondicional. Por inculcarme valores que han logrado que sea una persona de bien y por todas las enseñanzas que aplico en mi vida diariamente. Por enseñarme que todo lo que me propongo se puede cumplir con esfuerzo y dedicación.

A mi abuelito Jorge y abuelita Luz, que me enseñaron a esforzarme por salir adelante sin importar la dedicación que se necesite, buscando siempre dar amor y hacer feliz a su familia.

A mi hermana Sheila que con su ayuda y apoyo he podido cumplir varias metas en mi vida, una de esas es este proyecto de titulación. Por su amor hacia las personas más vulnerables de la sociedad y su empeño en poder ayudarlas.

A Michelle que ha sido mi gran apoyo cuando he pensado dejarlo todo, la persona que fue mi acompañante durante toda esta carrera, por presionarme a lograr mis metas y brindarme su felicidad en cada triunfo logrado.

A mis primos y tíos que siempre han sido un gran apoyo, poniendo lo necesario para ayudar a cumplir las metas impuestas con consejos.

Hernán Domínguez Urrea.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme salud y vida para poder culminar esta meta junto a mi familia, amigos y personas que son parte de este camino.

Agradezco a mi familia por su apoyo y amor, por sus consejos que van haciendo que la vida sea más sencilla, por su apoyo económico y permitirme disfrutar cada momento a su lado.

A mis amigos y compañeros del colegio y universidad que me han dado una mano cuando se ha necesitado, siempre apoyándonos unos a otros para poder resolver problemas ante las adversidades.

A los docentes de la universidad que han brindado su sabiduría y han hecho que me encante esta carrera, agradezco por sus enseñanzas que permitirán que siga creciendo profesionalmente.

A el ingeniero Julio Larco por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto de titulación, por brindarme sus conocimientos y su tiempo. Por ser un ingeniero que se preocupa de desarrollar proyectos que ayuden a mejorar la vida de grupos vulnerables de la sociedad.

Gracias a todos los que aportaron con sus conocimientos para poder realizar este trabajo.

Hernán Domínguez Urrea.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación e Importancia.....	3
1.3. Estado del Arte	6
1.4. Alcance.....	9
1.5. Objetivos	10
1.5.1. Objetivo General	10
1.5.2. Objetivos Específicos	10

CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Discapacidad visual.....	11
2.1.1. Tipos de discapacidad visual.....	12
2.1.2. El Sistema Braille.....	13
2.1.3. Síntesis de voz.....	14
2.2. Sonido.....	16
2.2.1. Digitalización del sonido.....	16
2.2.2. Tipos de sonido	17
2.2.2.1. Monofónico	17
2.2.2.2. Estereofónico.....	17
2.2.3. Sonido Tridimensional	18
2.2.3.1. Formato SOFA (Spatially Oriented Format for Acustics)	20
2.3. MathML	22
2.3.1. PMathML	22
2.3.2. CMathML.....	23
CAPÍTULO III	25
DISEÑO DE SOFTWARE	25
3.1. Necesidad de instituciones estudiantiles para la inclusión social	25
3.2. Ingreso de expresiones algebraicas	27
3.3. Generación de audio monofónico	30
3.3.1. NVDA más Audacity	31

3.3.2. Matlab más narrador de Windows	33
3.4. Generación de audio tridimensional.....	34
3.5. Interfaz grafica	37
CAPÍTULO IV	52
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	52
4.1. Grupo de pruebas	53
4.2. Forma de realización de las pruebas	54
CAPÍTULO V	58
ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
5.1. Preguntas de la encuesta.....	58
5.2. Resultados de la encuesta.....	59
5.3. Resultados de la transcripción.....	67
CAPÍTULO VI	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6.1. Conclusiones	73
6.2. Recomendaciones y Trabajos Futuros.....	75
Bibliografía	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tabla de aplicaciones y funciones utilizadas para el desarrollo del programa</i>	52
Tabla 2	<i>Tabla de repeticiones realizadas por cada estudiante en cada ejemplo presentado</i>	59
Tabla 3	<i>Tabla de aciertos en la transcripción de ejemplos con audio monofónico y tridimensional</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (a) Expresión matemática escrita en forma algebraica	
(b) Expresión matemática escrita en Braille	
(c) Expresión matemática generado por text-to-speech.....	2
Figura 2. (a) Expresión matemática en forma bidimensional	2
Figura 3. Expectativa de percepción tridimensional esperada para la persona con discapacidad visual	5
Figura 4. (a) Expresión matemática en lenguaje Latex	
(b) Expresión matemática en lenguaje CMathML	
(c) Expresión matemática traducida a palabras	9
Figura 5. Abecedario Braille.	13
Figura 6. Proceso de muestreo y digitalización de audio.....	17
Figura 7. Definición de sistema de coordenadas de la posición de fuente de sonido.	20
Figura 8. Expresión matemática de una integral generada por MuPad de Matlab	23
Figura 9. Marcador PMathML generada por MuPad de Matlab.....	24
Figura 10. Marcador CMathML generada por MuPad de Matlab	24
Figura 11. Diagrama de bloques de funcionamiento de programa TexToEs.....	28
Figura 12. Diagrama de bloques para la conversión a código CMathML mediante el editor MuPad de Matlab.....	29
Figura 13. Diagrama de bloques de la traducción de la expresión matemática a palabras con el uso del programa TexToEs	30
Figura 14. Ejemplo de TexToEs modificado	30

Figura 15. Configuración de lector NVDA para lectura de notación matemática	31
Figura 16. Grabación de ecuación matemática en software Audacity	32
Figura 17. Diagrama de bloques de generación de audio monofónico con Matlab y el narrador de Windows	33
Figura 18. Ejemplo de utilización de la función tts.m en Matlab y reproducción del audio con la función sound.....	34
Figura 19. Diagrama de bloques de generación de audio tridimensional con formato SOFA.....	36
Figura 20. Ángulos azimutales con elevación de 0 grados	37
Figura 21. Interfaz gráfica del programa.....	38
Figura 22. Funcionamiento de la aplicación con el uso del computador	39
Figura 23. Teclas con su respectiva funcionalidad dentro de la aplicación	40
Figura 24. Diagrama de flujo de programa principal (interfaz gráfica).....	42
<i>Figura 25.</i> Diagrama de flujo de función ejemplos.m.....	45
<i>Figura 26.</i> Diagrama de flujo de función rs3d1.m	48
<i>Figura 27.</i> Diagrama de flujo de función ejemplo11.m	50
Figura 28. Resultado de la pregunta 1 de la encuesta	60
Figura 29. Resultado de la pregunta 2 de la encuesta	60
Figura 30. Resultado de la pregunta 3 de la encuesta	61
Figura 31. Resultado de la pregunta 4 de la encuesta	62
Figura 32. Resultado de la pregunta 5 de la encuesta	63
Figura 33. Resultado de la pregunta 6 de la encuesta	64
Figura 34. Resultado de la pregunta 7 de la encuesta	65
Figura 35. Promedio de aciertos y errores de audio monofónico	69

Figura 36. Promedio de aciertos y errores de audio tridimensional.....	69
Figura 37. Transcripción de expresiones matemáticas	70
Figura 38. Transcripción de expresiones matemáticas	71
Figura 39. Transcripción de expresiones matemáticas	72

RESUMEN

En la actualidad las personas con discapacidad visual, quieren integrarse a la sociedad, por lo que buscan educarse en centros con inclusión social, los cuales utilizan diferentes métodos de aprendizaje como el Braille y la síntesis de voz, que sirven para la comprensión y ayudan a los estudiantes a trabajar con expresiones matemáticas pero de manera lineal, esto hace que sea más difícil entender la semántica matemática que tiene un diseño bidimensional. Con la modalidad lineal el lector tiene que construir la expresión de una forma incremental, a diferencia de poder leer con los ojos la expresión y construir primero la estructura y luego llenarla con valores. Para solucionar estos problemas en este proyecto se desarrolló una aplicación, la cual permite escuchar expresiones matemáticas mediante el uso de audio tridimensional para transmitir al no vidente la bidimensionalidad de la fórmula matemática. Se utilizó la herramienta de software matemático MATLAB para el desarrollo. Además para la generación de audio se usó el formato SOFA (*Spatially Oriented Format for Acoustics*), el cual es utilizado para el almacenamiento de datos acústicos orientados espacialmente, en este se utilizan las funciones de transferencia HRTF (*Head Related Transfer Function*), las cuales sirven para modelar la acústica del oído externo y medio, varios filtros cocleares, procesamiento binaural. Con lo cual se realizó pruebas a estudiantes no videntes para demostrar si la utilización de audio 3D facilita el entendimiento de las expresiones matemáticas.

PALABRAS CLAVE:

- AUDIO TRIDIMENSIONAL

- DISCAPACIDAD VISUAL

- SPATIALLY ORIENTED FORMAT FOR ACOUSTICS

ABSTRACT

Currently, people with visual disabilities want to integrate into society, so they seek education in centers with social inclusion, which use different learning methods such as Braille and speech synthesis, which serve to understand and help students to work with mathematical expressions but in a linear way, this makes it more difficult to understand the mathematical semantics that has a two-dimensional design. With the linear mode the reader has to construct the expression in an incremental way, unlike being able to read the expression with the eyes and build the structure first and then fill it with values. To solve these problems in this project an application was developed, which allows to listen to mathematical expressions by using three-dimensional audio to transmit to the blind the bidimensionality of the mathematical formula. The mathematical software tool MATLAB was used for development. In addition, the SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics) format was used for the audio generation, which is used for the storage of spatially oriented acoustic data, in which the HRTF (Head Related Transfer Function) transfer functions are used. They serve to model the acoustics of the outer and middle ear, various cochlear filters, binaural processing. With this, tests were conducted on blind students to demonstrate if the use of 3D audio facilitates the understanding of mathematical expressions.

KEY WORDS:

- THREE-DIMENSIONAL AUDIO**
- VISUAL DISABILITY**
- SPATIALLY ORIENTED FORMAT FOR ACOUSTICS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La tiflotecnología es el desarrollo de un conjunto de técnicas de apoyo las cuales son aplicadas a personas no videntes o con baja visión, que tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de personas con esta discapacidad usando equipos tecnológicos o adaptaciones.

Actualmente las personas con discapacidad visual quieren integrarse a la sociedad, con lo que buscan educarse en centros especializados en enseñanza, con métodos diferentes de aprendizaje, donde aprenden el lenguaje Braille, sin embargo, cada vez hay menos personas que son capaces de leer este tipo de lenguaje. Este lenguaje se basa en un arreglo de seis puntos ordenados en tres filas y dos columnas, estos puntos pueden estar o no en relieve, los cuales representan la mayoría de los caracteres del alfabeto, número o símbolo. Lastimosamente escribir o modificar una expresión matemática en la notación de lenguaje Braille común, es complicado por el aprendizaje de nuevas posiciones de cada elemento, además que dependiendo de la complejidad y longitud de la expresión, se generara una carga mental más extensa, ya que se debe recordar la posición de cada símbolo.

Otra forma de acceder al contenido matemático es la utilización de síntesis de voz, que se relaciona a la linealización de la expresión matemática en una oración que se pronuncie, esta es la modalidad más económica que existe hoy en día con relación a dispositivos Braille, siendo más accesible para personas con discapacidad visual que no aprendieron a usar Braille. En la figura 1 se observa como una expresión matemática se la puede escribir en forma algebraica, en Braille y el espectro de frecuencia producido por el habla sintetizada.

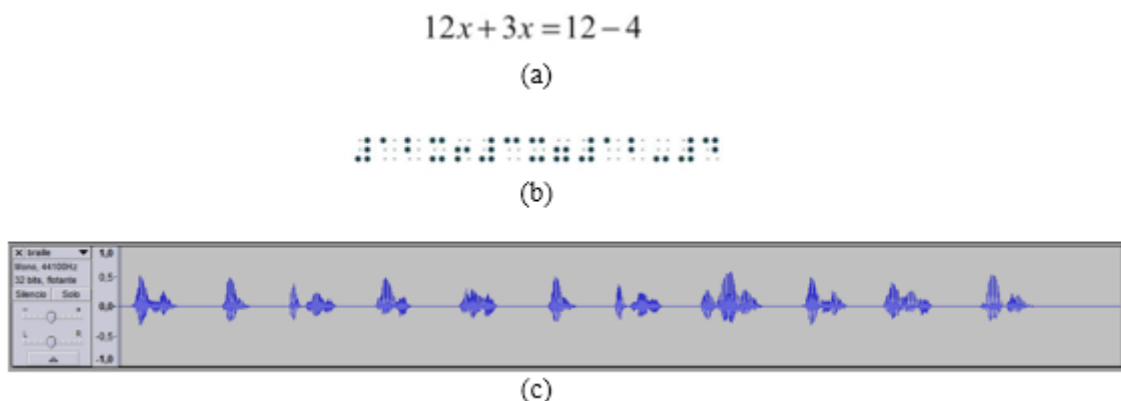


Figura 1. (a) Expresión matemática escrita en forma algebraica
 (b) Expresión matemática escrita en Braille
 (c) Expresión matemática generado por text-to-speech

Los dos métodos mencionados anteriormente son lineales, esto hace que sea más difícil entender la semántica matemática en un diseño bidimensional. Con la modalidad lineal el lector tiene que construir la expresión de una forma incremental, a diferencia de poder leer con los ojos la expresión y construir primero la estructura y luego llenarla con valores. Por ejemplo, cuando se tiene una fracción simple de $a + b$ sobre $c - d$, la forma bidimensional hace que el lector entienda inmediatamente que es una fracción, ya que en los bloques solo constan 7 símbolos, cuando esta se linealiza el número de símbolos aumenta a 11, ya que se debe marcar los bloques explícitamente y se entiende que es una fracción al leer el sexto símbolo como se observa en la figura 2.

$$\begin{array}{cc} \frac{a+b}{c-d} & (a+b)/(c-d) \\ \text{(a)} & \text{(b)} \end{array}$$

Figura 2. (a) Expresión matemática en forma bidimensional
 (b) Expresión matemática en forma linealizada

El sonido es un fenómeno físico el cual consiste en ondas sonoras y ondas acústicas las cuales se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire son convertidas a ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro, las cuales se propagan de forma analógica a través de un medio elástico sólido, líquido o gaseoso como el aire y el agua.

La influencia que ejerce un sonido sobre una persona provee información sobre el ambiente el cual la rodea, lo que da a conocer la posición donde se encuentra la fuente de sonido. En la actualidad se ha desarrollado herramientas las cuales permiten la creación de espacios virtuales, donde se puede obtener la percepción de encontrarse en un lugar diferente, mediante la visión del entorno, y generación de audio de posiciones dinámicas. Al enfocarnos solo en el audio, se habla del sonido tridimensional, el cual es la combinación de técnicas especializadas de grabación y procesamiento de audio que permite crear la percepción al consumidor final para que escuche sonidos en cualquier punto de los 360 grados del espacio tridimensional.

En este proyecto se busca mediante la utilización de Matlab (MathWorks, 2018) y Python (Python, 2018), diseñar e implementar una aplicación informática que usando audio tridimensional facilite el aprendizaje de expresiones algebraicas a personas no vidente, dando una perspectiva de espacialidad a cada elemento de la misma. Para la creación de la aplicación informática se utiliza también la base para la generación de audio tridimensional el formato SOFA (*Spatially Oriented Format for Acoustics*) (MediaWiki, 2018).

1.2. Justificación e Importancia

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en el Ecuador existen 51.485 personas con discapacidad visual registradas hasta febrero de 2017. De este total las personas con discapacidad visual en periodo de escolaridad que se encuentran entre 5 a 19 años registradas en el CONADIS son 2.867, y de estas 687 tienen la edad para rendir el examen ser bachiller, pero según las estadísticas quienes se presentaron para el Examen Nacional de Educación Superior en el año 2017 tan solo 606 personas con alguna discapacidad se acercaron a rendir el examen para poder ingresar a la universidad.

En la Constitución de la República del Ecuador menciona en el título II, sección sexta, artículo 47, apartado 7, reconoce el derecho de personas con discapacidades a: “Una educación que desarrolle sus potencialidades y habilidades para su integración y participación en igualdad de condiciones. Se garantizará su educación dentro de la educación regular. Los planteles regulares incorporarán trato diferenciado y los de atención especial la educación especializada. Los establecimientos educativos cumplirán normas de accesibilidad para personas con discapacidad e implementarán un sistema de becas que responda a las condiciones económicas de este grupo.” (Asamblea Constituyente, 2008)

Las personas con discapacidad visual encuentran dificultades para acceder a contenidos matemáticos, a pesar de que no exista ninguna razón por la cual la semántica matemática no pueda ser entendida por causa de la ceguera. Con lo cual la mayor barrera que se tiene es el acceso a expresiones matemáticas de una manera que facilite el entendimiento por síntesis de habla, debido que el alfabeto Braille no es aprendido por todas las personas no videntes, ya sea porque no les enseñaron, o por algún accidente que le ocasionó la pérdida de la vista (Día, 2012). Además para poder comprender expresiones matemáticas en el alfabeto braille se necesita conocer la terminología de cada símbolo, asimismo se requiere tener gran retención de memoria para comprender la expresión.

Normalmente las expresiones matemáticas se presentan en un gráfico de dos dimensiones, dando facilidad a la comprensión al lector para entender el contenido, ya que el sentido de la visión proporciona una percepción global de la expresión, para comprender inmediatamente. Un inconveniente que se presenta entre las modalidades de aprendizaje no visuales como el Braille o la síntesis del habla es su linealidad, esto significa que las expresiones no son representadas de manera bidimensional sino de forma lineal. Toda expresión matemática que este en dos

dimensiones puede ser linealizada, pero este proceso genera dos problemas, las expresiones linealizadas son más extensas y se pierde el entendimiento inmediato de la estructura de la expresión.

En la figura 3 se representa un ejemplo de cómo va a funcionar la aplicación, dando una perspectiva espacial de donde se encuentra cada símbolo de una expresión matemática. Primero se tiene la ecuación que se desea transmitir representada de una manera gráfica bidimensional, luego se procederá a linealizar la ecuación y crear un texto descriptivo que identifica sus símbolos matemáticos, variables, conectores y números, que serán transformados en audio tridimensional, dando la perspectiva de ubicación de cada parte de la ecuación matemática.

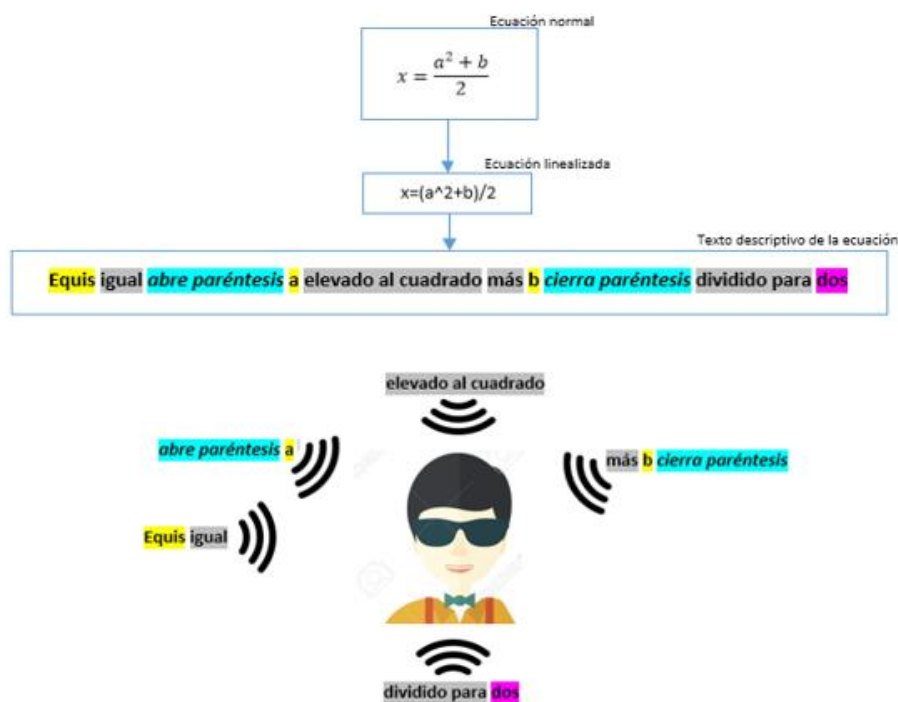


Figura 3. Expectativa de percepción tridimensional esperada para la persona con discapacidad visual

A nuestro entender se puede determinar que no existen trabajos relacionados con el aprendizaje de expresiones matemáticas para personas no videntes con el uso de audio tridimensional en

español, para edades de escolaridad primaria y secundaria, con lo cual se determina que es importante la realización de esta investigación. Además que con este tipo de investigaciones se genera aportes para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad visual.

1.3. Estado del Arte

En la Universidad de las Fuerzas Armadas se han desarrollado proyectos de aspecto social, con la finalidad de ayudar a las personas con discapacidad visual, de entre los cuales se pueden citar: El diseño e implementación de una máquina de escribir Braille (Noboa & Noboa, 2014), Diseño e implantación de un programa para el aprendizaje de álgebra elemental (Salcedo, 2016). Ambos proyectos fueron pensados para facilitar la escritura del alfabeto, números y símbolos del lenguaje Braille. Estos proyectos generaron inclusión social para personas no videntes, fueron la base fundamental para seguir creando más proyectos para ayudar a la sociedad más vulnerable.

Se realizó un proyecto en el cual se implementó un proceso innovador para mejorar el acceso a las matemáticas por parte de jóvenes con discapacidad visual en un entorno educativo, este fue desarrollado y diseñado en el proyecto europeo LAMBDA (Acceso Lineal a Matemáticas para Dispositivos Braille y Audio síntesis). Este comprende del código LAMBDA y el editor matemático. (Schweikhart, Bernareggi, Jessel, Encelle, & Gut, 2006). El programa tiene la ventaja de que el profesor puede interactuar con editor matemático, aunque el problema de esta es que la persona no vidente debe aprender una signografía especial que no es fácilmente interpretable para el profesor o resto de compañeros.

Estudios basados en el desarrollo de entornos virtuales con audio se han ido generando para fomentar habilidades de aprendizaje, con lo cual se encuentra una publicación (Sánchez & Sáenz, 2006), la cual diseña entornos interactivos con audio tridimensional para niños con discapacidad

para ayudarles a resolver problemas de geografía y cultura de Chile. AudioChile utiliza el audio 3D para orientar, evitar obstáculos e identificar las posiciones de varios personajes y objetos dentro de un entorno.

Se han desarrollado juegos basados en audio, considerando el modelo mental de niños con discapacidad visual y sus estilos de interacción para percibir y procesar datos e información, con lo cual el fin de estos juegos fue mejorar el desarrollo cognitivo de las estructuras espaciales, memoria, la percepción háptica, habilidades matemáticas, la navegación y la orientación. En el documento científico se puede destacar la compilación de cuatro juegos desarrollados para niños con discapacidad visual como son AudioVida, AudioMath, *The Farm of Theo & Seth* y AudioChile. (Sánchez, User-centered technologies for blind children, 2008). Las aplicaciones son utilizables, pero están destinadas para el aprendizaje de cultura, geografía de Chile más no para otros países.

Dentro de los trabajos realizados con audio tridimensional para personas no videntes se destacan varios proyectos, como en una tesis publicada (Briger, 2013) con el objetivo de diseño de juegos de audio tridimensional, el juego llamado *Sound Hunter* fue probado por personas videntes y con discapacidad visual, la navegación que se usa en este juego se basa en datos generados en el acelerómetro de un Smartphone, donde son necesarios audífonos para poder percibir el audio con la aplicación del filtro *Head Related Transfer Function* (HRTF). En esta investigación se determinó que el uso de audio tridimensional es exitoso al desarrollar juegos, ya que ayudo a los participantes a navegar con mayor precisión.

Gracias a la tecnología actual, se dispone de aparatos portátiles como las tabletas que permiten el desarrollo de aplicaciones con fines de entretenimiento o aprendizaje, pero la mayoría de estos

programas sean inaccesibles para niños con discapacidad visual. Por lo cual en el trabajo revisado se desarrolla una aplicación llamada *MathMelodies*, que apoya el aprendizaje de matemáticas para una educación primaria, siendo accesible para niños con discapacidad visual, el funcionamiento de este se basa en el uso del sintetizador *text-to-speech* del sistema operativo iOS 7. (Gerino, Albastro, Bernareggi, Ahmetovic, & Mascetti S., 2014). Con lo cual se determina que existen varias aplicaciones para aprendizaje matemático para estudiantes, pero ninguno usa la herramienta de audio tridimensional lo cual podría ayudar a mejorar la comprensión y entendimiento de expresiones matemáticas.

La propuesta de la investigación realizada por Luis Thur consiste en la verbalización de fórmulas matemáticas a partir de expresiones matemáticas escritas en lenguaje Latex (Mittlebach, Braams, Rowley, & Rahtz, 2018). Este programa consiste en utilizar un lector de pantallas o TTS (*Text to Speech*), (Speech, 2018), para que realice la lectura en voz alta, de una cadena de caracteres presente en la pantalla. El problema de esta investigación se basa que al leer el texto en Latex no se describe de una manera entendible ya que posee varios caracteres especiales que al ser leídos no concuerdan con palabras algebraicas, con lo cual realizaron un programa el cual traduzca el código Latex a CMathML, para luego ser leídas naturalmente con un lector de pantalla. (Thur, 2016). En la figura 4 se puede observar un ejemplo sobre el funcionamiento final de la aplicación de Luis Thur, en el cual se tiene la expresión matemática x^{a*b} y esta se traduce a dos lenguajes diferentes para obtener al final la ecuación en forma de palabras.

```

(a) tex = x^{ab}
(b) mathml=
    <math>
      <apply>
        <power/>
          <ci>x</ci>
          <apply>
            <times/>
              <ci>a</ci>
              <ci>b</ci>
          </apply>
        </apply>
      </math>
(c) verb = (X elevado a la (A por B))

```

Figura 4. (a) Expresión matemática en lenguaje Latex
 (b) Expresión matemática en lenguaje CMathML
 (c) Expresión matemática traducida a palabras

1.4. Alcance

El presente proyecto se centra en el diseño e implementación de una aplicación informática, la cual permita elegir una expresión matemática, la misma que será linealizada y mediante el uso de audio tridimensional transmitir al no vidente la bidimensionalidad de la fórmula matemática. Se pretende utilizar la herramienta de software matemático MATLAB en conjunto con la herramienta de programación Python para su desarrollo. Esta aplicación está enfocada para estudiantes con discapacidad visual de nivel medio y bachillerato.

Se pretende realizar pruebas con personas no videntes para demostrar si la utilización de audio tridimensional facilita el entendimiento de las expresiones matemáticas. Realizando encuestas y entrevista a las personas con discapacidad visual.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una aplicación informática, orientada a personas no videntes para brindar accesibilidad de expresiones matemáticas mediante la utilización de audio tridimensional.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar el estado del arte de investigaciones relacionadas con la accesibilidad de expresiones matemáticas y uso de audio 3D para personas no videntes
- Crear un programa que permita linealizar expresiones matemáticas
- Identificar la complejidad de las expresiones matemáticas a ser usadas
- Reproducir la ecuación linealizada en audio 3D
- Evaluar el funcionamiento del programa mediante pruebas con personas con discapacidad visual que manejen expresiones matemáticas
- Analizar los resultados obtenidos y determinar si el programa creado facilita el entendimiento de expresiones matemáticas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se describirá la teoría necesaria para el entendimiento de cómo se realizó el proyecto de investigación. Se empezará describiendo métodos de lectura para personas no videntes usando lenguaje Braille y síntesis de voz, detallando las ventajas y desventajas de cada uno. Posteriormente se explicará sobre el sonido en general, para llegar a describir el funcionamiento del audio tridimensional, con el uso de filtros y formatos con sus bases de datos respectivamente. Finalmente se detallará el funcionamiento de lenguajes de programación como MathML (W3C, 2018) y como se pretende utilizarlo en la realización del programa con ayuda de software de programación como MATLAB y Python.

2.1. Discapacidad visual

La vista es uno de los sentidos más importantes para el ser humano, ya que el 80% de información necesaria para la vida cotidiana se recibe por el órgano de la visión, dado así que la mayoría de lo que se aprende y las acciones que se ejecutan se basan en información visual de nuestro entorno.

Según la Organización Mundial de la Salud, “La cifra estimada de personas con discapacidad visual es de 253 millones: 36 millones con ceguera y 217 millones con discapacidad visual moderada a grave” (Bourne, y otros, 2017). Al mencionar discapacidad se debe tomar en cuenta que esta no implica algún padecimiento o enfermedad, sino un impedimento de las capacidades del ser humano para realizar alguna actividad determinada. Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), existen 51.495 personas con discapacidad visual en el Ecuador,

de estas el grupo que se encontraría en edad de escolaridad que se determina entre los 5 a 17 años se encuentran 2.867 registradas hasta febrero de 2018 (Discapacidades, 2018).

En el Ecuador se han implantado diferentes programas de inclusión social, para personas con discapacidad, impulsados por políticas de estado, ayudando a este grupo a integrarse en la sociedad, mediante el ingreso a instituciones para el aprendizaje dependiendo la discapacidad que presenten, así cumpliendo lo estipulado en la Constitución de la República del Ecuador, dando igualdad de derechos y oportunidades, mejorando su calidad de vida.

Las personas con discapacidad visual enfrentan varios problemas en su vida cotidiana, el entorno en el que se movilizan lo conocen, pero al cambiar de estos entornos conocidos, se genera un gran problema ya que la movilidad es uno de los desafíos más grandes, por lo cual suelen movilizarse junto a un guía que les ayuda a transitar por entornos desconocidos. Una persona no vidente debe aprender todos los detalles de su vivienda, saber dónde están las cosas para prevenir caídas o golpes, además que todas las cosas deben siempre estar ordenadas permaneciendo en un lugar fijo.

2.1.1. Tipos de discapacidad visual

Existen tres tipos de discapacidad visual:

- Baja visión moderada, esta se refiere a la pérdida de visión con un porcentaje de recuperación por encima del 50%.
- Baja visión grave, esta se refiere a la pérdida de visión el cual no pueda ser corregido totalmente mediante la utilización de lentes, tratamientos o cirugía, el porcentaje de recuperación se encuentra por debajo del 50%.

- Ceguera, esta se refiere a la pérdida total de visión la cual impide la respuesta a estímulos de luz.

A pesar del grado de pérdida de visión que se presente, el aprendizaje para personas no videntes es un reto, por lo cual se han ido creando diferentes tecnologías y aparatos los cuales han ayudado parcialmente a mejorar la calidad del aprendizaje, aunque no todos se los puede obtener por problemas sociales o económicos.

2.1.2. El Sistema Braille

Un invento que ayudo a personas no videntes, y provocó una revolución social, generando inclusión en la alfabetización y teniendo acceso a la educación fue el sistema Braille, creado por Louis Braille. Se basa en el manejo del sentido del tacto, usando las yemas de los dedos, este consta de seis puntos distribuidos en dos hileras paralelas de tres obteniendo diferentes formas con relieve, siendo parte del sistema binario, este es un alfabeto internacional, en el cual se pueden representar letras, números y signos. En total existen 256 caracteres dentro del alfabeto Braille. En la figura 5 se puede observar el abecedario en lenguaje Braille.

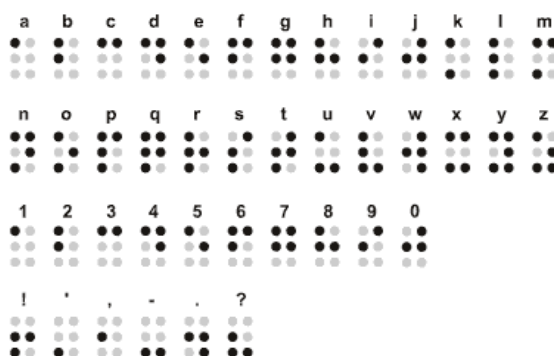


Figura 5. Abecedario Braille.

Fuente: (Marin, 2012)

Refiriéndose a la parte matemática, se puede decir que en general se complica el entendimiento de las expresiones, esto se debe a diferentes razones como la comprensión de la ubicación de cada elemento que constituye una fórmula matemática, así como fracciones, sumatorias, radicales, etc. Entender que valores pertenecen al numerador y denominador. Así mismo dependiendo de la complejidad matemática que posea la expresión, generara una carga más ambigua para la persona con discapacidad visual al recordar cada variable o valor de la expresión matemática. Se puede destacar que las personas no videntes deben aprender un lenguaje diferente para poder representar una expresión matemática.

2.1.3. Síntesis de voz

Es una producción artificial del habla, mediante la utilización de dispositivos tecnológicos como computadoras, celulares, tabletas, etc. En la actualidad se lo conoce comúnmente con su seudónimo en inglés *text-to-speech* (TTS). Esta tecnología ha sido muy útil para personas con discapacidades, especialmente la visual, ya que ha generado inclusión tecnológica, ayudando a la utilización de dispositivos electrónicos. Esta ayuda a personas no videntes a obtener información, mediante el uso de esta aplicación, pudiendo escuchar la lectura de libros, de información, direcciones, etc. Una de las ventajas de la utilización de la síntesis de voz es el costo, ya que existen varias aplicaciones de software gratuitos para la generación de la misma, en esto se puede nombrar al narrador de Windows, que viene implícito en este sistema operativo.

El problema para implementar esta tecnología en expresiones matemáticas es que se debe agregar símbolos como paréntesis, lo que produce un alargamiento de la expresión, otra dificultad es distinguir donde se encuentran los índices superior o inferior, ya que el audio es

lineal. Según un artículo escrito por Fateman, se intenta estandarizar la manera de cómo se debería hablar una expresión algebraica, una de las soluciones es disminuir la carga de una expresión compleja o extensa, generando una más simple (Fateman, 2013). Por ejemplo, la fórmula general para determinar las raíces de un polinomio de segundo grado es:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a}$$

Se la puede simplificar al sustituir $\sqrt{b^2 - 4 * a * c}$ por otra variable como alfa (α). Así se obtendría una nueva expresión más simple:

$$x = \frac{-b \pm \alpha}{2 * a}; \quad \text{donde} \quad \alpha = \sqrt{b^2 - 4 * a * c}$$

Al generar la expresión en palabras podemos notar que se generó una expresión más simple.

- x es igual a fracción donde el numerador es menos b más menos raíz cuadrada de b elevado a dos, menos 4 por a por c, y el denominador es 2 por a por c. (Expresión original)
- x es igual a fracción donde el numerador es menos b más menos α , y el denominador es 2 por a por c
 - o Donde α es igual a raíz cuadrada de b elevado a dos, menos 4 por a por c.

Esto genera que exista menos carga mental, brindando una mejor perspectiva de la expresión algebraica. Además con este método se puede interpretar mayor complejidad en las expresiones al convertirlas en audio.

2.2. Sonido

El sonido es un fenómeno físico el cual consiste en ondas sonoras y ondas acústicas las cuales se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire son convertidas a ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro, que se propagan de forma analógica a través de un medio elástico sólido, líquido o gaseoso como el aire y el agua.

2.2.1. Digitalización del sonido

El de sonido existente es analógico, con lo cual para ser procesado se necesita captarlo en un dispositivo electrónico. El proceso para digitalizar comienza al grabar y transformar las vibraciones sonoras a señales eléctricas o variaciones de voltaje, para lo que se usa un transductor electroacústico como un micrófono.

Posteriormente se realiza el muestreo en un conversor análogo digital en el computador. Para esto se obtienen dos datos importantes los cuales son: la frecuencia de muestreo, la cual determina la cantidad de muestras tomadas por unidad de tiempo, las unidades de esta son los hertzios (Hz). El bitrate es la cantidad de bits que fueron empleados para representar cada muestra tomada, estas tienen unidades de bits por segundo (bps). Se procede a realizar la cuantificación la cual se basa en medir el voltaje aproximado del valor muestreado de la señal analógica al nivel más cercano de la amplitud en cada instante y se le asigna un valor.

El último paso es la codificación, la cual consiste en asignar una palabra digital a cada nivel de cuantificación, es decir que la señal se expresa en bits según sea codificada. En la figura 6 se puede observar gráficamente el proceso de muestreo y digitalización del audio.

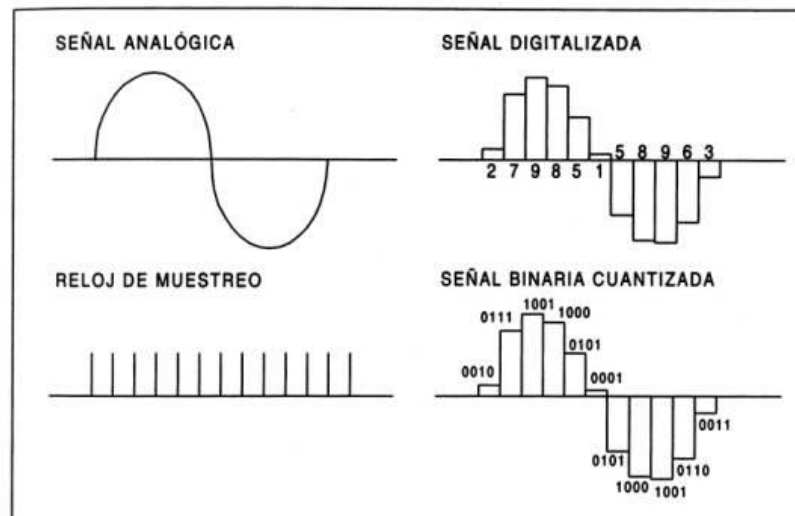


Figura 6. Proceso de muestreo y digitalización de audio.

Fuente: (Navarro, 2011)

2.2.2. Tipos de sonido

Se puede realizar dos tipos de grabación de sonido digital, las cuales son monofónico y estereofónico, estos dos tipos presentan diferencias las cuales se las puede notar al momento de escuchar el audio grabado.

2.2.2.1. Monofónico

Este sistema se refiere cuando todas las señales de audio están mezcladas a través de un canal simple de audio, este sonido solo se escucha de una posición, para su grabación se necesita equipo básico. Sus usos más comunes son para programas de radio AM, aparatos auditivos, comunicación telefónica, etc.

2.2.2.2. Estereofónico

Este sistema consta de dos canales independientes que captan señales de audio, dando así que las ondas emitidas tienen un nivel específico además de una variación de fase, la cual varía entre estos dos canales. El sonido estereofónico genera una

perspectiva audible de donde se encuentra la fuente, para su grabación se necesitan equipos especializados, este audio simula la percepción de profundidad y dirección. Son más usadas en películas, televisión, reproducción de música, emisoras de radio FM, etc.

2.2.3. Sonido Tridimensional

El sonido tridimensional se basa en la generación de audio desde cualquier punto del espacio, dando una perspectiva de diferentes lugares donde se encuentra la fuente, con esto se entiende que el audio puede provenir y moverse por el espacio, dando como la sensación de tres dimensiones. Para crear este audio existen dos formas utilizando diferentes tecnologías.

- A través de la utilización de altavoces repartidos por una sala, en la cual se pueda generar sonido por los diferentes parlantes. Así se da la perspectiva de movimiento espacial.
- A través de la utilización de tecnología binaural, esta se basa en la reproducción de sonido en auriculares, para entender esto se debe tener en cuenta como el cerebro obtiene la información de la fuente de sonido, así le da una perspectiva de espacialidad, para generar el audio en este sistema, se necesita realizar procesamiento de señales.

El audio binaural es una de las formas más eficiente de implementar audio tridimensional, ya que ayuda a percibir el sonido tridimensional con nuestros dos oídos, nuestra percepción es el resultado de interpretar la presión que recibimos en los dos tímpanos.

La simulación de sonido tridimensional es generada principalmente para crear un ambiente acústico para el oyente obtenga información completa de lo que existe en su alrededor, en varias posiciones, logrando presentar la información de manera auditiva. Para lograr simular

el sonido tridimensional se debe tener en cuenta las características psico acústicas del oyente, con lo que se empieza a mencionar sobre funciones de transferencia relacionadas con la cabeza, en las cuales van implícitos efectos físicos que generan las partes del cuerpo del oyente cuando receptan ondas de audio.

Para entender cómo generar la simulación de audio tridimensional primero se debe entender cómo trabaja el sistema de audición del ser humano, además que factores están involucrados para poder percibir sonido de diferentes localizaciones. Los principales factores que dan la perspectiva de localización de la fuente del sonido son la distancia de la misma, se debe tomar en cuenta las características de la cabeza y orejas del oyente, además de factores que afecten la propagación del sonido.

El proceso para que una persona pueda escuchar se basa en el análisis de pistas para la detección de entradas y salidas de los oídos; es un sistema lineal e invariante del tiempo que depende de la frecuencia de la señal. Una teoría desarrollada por Lord Rayleigh demuestra que para longitudes de ondas cortas (4 kHz – 20 kHz) la cabeza del oyente se comporta generando un apantallamiento acústico para el oído más lejano de la fuente sonora, dando lugar a la atenuación del sonido para ese oído. Para longitudes de onda largas las dimensiones de la cabeza son muy pequeñas comparadas con la longitud de onda. El rol del oído externo es superponer distorsiones lineales relacionadas con los ángulos y distancias al sonido incidente. (Magro, 2016)

Cuando el ser humano escucha, el sonido proveniente de una fuente a la izquierda o derecha del plano medio (i.e. con un ángulo azimutal $\theta \neq 0^\circ$) llegará antes al oído más cercano a la fuente, creando una Diferencia Interaural de Tiempo (ITD) entre ambas señales y tendrán un

nivel de presión sonora diferente, mayor para la señal correspondiente al oído más cercano a la fuente, resultando en una Diferencia Interaural de Nivel o Intensidad (ILD o IID) (Magro, 2016).

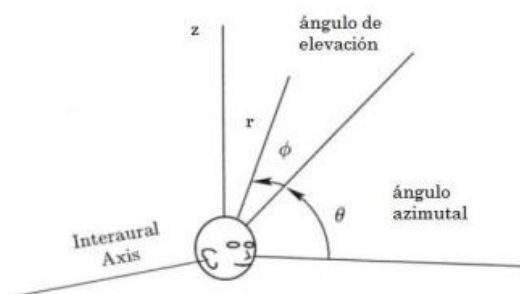


Figura 7. Definición de sistema de coordenadas de la posición de fuente de sonido.
Fuente: (Magro, 2016)

Como se observa en la figura 7 dependiendo de la posición de la fuente, ciertas frecuencias se amplificarán o atenuarán al convolucionar el sonido con la Respuesta al Impulso Relacionada con la Cabeza (HRIR, *Head Related Impulse Response*), consiguiendo la localización virtual en tres dimensiones, se lo representa de mejor manera en coordenadas esféricas donde r es el radio, θ es el ángulo azimutal y φ es el ángulo de elevación.

2.2.3.1. Formato SOFA (Spatially Oriented Format for Acustics)

SOFA es un formato en el cual se almacenan datos acústicos orientados en el espacio, en este se usan funciones de transferencia relacionadas con la cabeza como las HRTF (*Head Related Transfer Function*), además se utilizan las respuestas de impulso de las salas binaurales o direccionales (BRIR, DRIR). (Majdak, Noisternig, Mihocic, Ziegelwanger, & Carpentier, 2018).

Para localizar la presión sonora de una fuente de sonido, se necesita una respuesta en el impulso desde la fuente al oído, esta se la denomina HRIR, y al aplicar la transformada de Fourier se obtiene la HRTF. La HRTF se encuentra en coordenadas esféricas y depende de la distancia y frecuencia del sonido.

Para crear las primeras bases de datos se realizaron mediciones con personas de prueba y con maniqués de cabeza. En la primera medición se colocaron micrófonos como simuladores de oído, la fuente de audio fue un altavoz el cual se movió con ángulos de elevación, mientras el maniquí rotó en ángulos de azimut, se pudieron medir en total 710 posiciones espaciales con ángulos de elevación entre -40 y +90 grados con pasos de 10 grados, en cambio en ángulos azimutales se dio pasos de 5 grados, con una distancia constante de 1.4 metros.

Posteriormente una de las primeras bases de datos disponibles fue la CIPIC (UCDAVIS, 2018), en esta se realizaron mediciones a personas de prueba, se pudo tomar 1250 direcciones espaciales en una distancia constante de 1 metro alrededor del oyente. Después de CIPIC, varias otras bases de datos han sido publicadas, estas siguen una serie de configuraciones para realizar las mediciones. Se deben realizar en una cámara anecoica, generando señales de excitación las cuales serán captadas por micrófonos, repitiendo cada medición al variar la posición de la fuente de sonido o del oyente. Para realizar la medición de HRTF binaural solo se necesitan dos micrófonos que simulan la oreja derecha y oreja izquierda, pero si se requieren grabar mediciones de DRIR, se puede considerar el uso de más micrófonos (MediaWiki, 2018), Es importante mencionar que la función HRTF es esencial para la creación y

simulación de audio tridimensional ya que trabaja directamente con las bases de datos, mediante el filtrado esta genera el posicionamiento del audio en cada punto del espacio dependiendo de las coordenadas que se posee, generando al final el audio tridimensional.

2.3. MathML

Es un lenguaje destinado a la notación matemática, el cual usa una forma para codificar las expresiones con estructuras de texto en la web. Su objetivo es integrar las fórmulas matemáticas de las páginas de internet. Una de las ventajas de este lenguaje es que tiene un estándar para la representación de expresiones matemáticas para la *World Wide Web*, además los navegadores más usados ya tienen integrado el soporte de este lenguaje. Este tipo de lenguaje se conforma de tags XML los cuales en cada línea representan un número, signo de operación, súper índice o subíndice, etc. Esto genera que la expresión pueda ser presentada en pantalla de una manera correcta con un código, existen dos maneras de presentar el marcado de contenido los cuales son PMathML y CMathML.

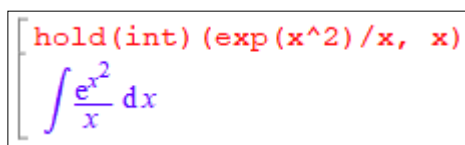
2.3.1. PMathML

Esta parte del lenguaje MathML es denominado marcado de presentación, cuyo objetivo principal es describir la estructura de la expresión matemática, usa constructores con variables de notación matemática tradicional, esta notación incluye 37 tags para ser utilizados en la representación de fórmulas. Los tags más utilizados son $\langle mo \rangle$, $\langle mi \rangle$, $\langle mrow \rangle$, estas indican operadores, variables y expresiones anidadas. Se puede observar un ejemplo en la figura 9.

2.3.2. CMathML

Esta parte del lenguaje MathML es denominado marcado de contenido, cuyo objetivo principal es la descripción semántica de la expresión matemática, a diferencia de PMathML tiene 129 tags, por lo que es más amplia la información que se tiene en el código que genera. Los tags más usados en este marcado son <ci>, <cn> y <apply>. Se utiliza para describir variables, el siguiente utilizado para describir números y el último sirve para informar cuales operadores tienen operadores hijos. La ventaja de este marcador es el número de tags que tiene para describir cada elemento específicamente. Se puede observar un ejemplo en la figura 10.

Para poder diferenciar entre ambos marcadores, se presentará un ejemplo el cual se codificará la siguiente expresión algebraica con la herramienta MuPad de Matlab.



The image shows a rectangular box containing two lines of text. The top line is red text representing the MathML code: `hold(int)(exp(x^2)/x, x)`. The bottom line is a rendered mathematical expression in blue: $\int \frac{e^{x^2}}{x} dx$.

Figura 8. Expresión matemática de una integral generada por MuPad de Matlab

Como se puede observar en la figura 8 se tiene una integral indefinida, la cual será procesada para convertirse en código MathML, como ya fue mencionado este puede decodificarse en sub partes como son el código PMathML como se observa en la figura 9, en la cual tiene como desventaja que sus líneas de código no dan mucha información ya que es limitado, en cambio en la figura 10 se observa que se tiene la expresión matemática mejor codificada con más código en el cual se puede diferenciar que tipo de elemento matemático es además de que todo tiene sangría para identificar su posicionamiento dentro de la ecuación matemática.

```

generate::MathML(hold(int)(exp(x^2)/x, x), Content = FALSE)
<math xmlns='http://www.w3.org/1998/Math/MathML'>
  <semantics>
    <mrow>
      <mo form='prefix'>&Integral;</mo>
      <mrow/>
      <mfrac>
        <msup>
          <mo>&ee;</mo>
          <msup>
            <mi>x</mi>
            <mn>2</mn>
          </msup>
        </msup>
        <mi>x</mi>
      </mfrac>
      <mo form='infix'>&DifferentialD;</mo>
      <mi>x</mi>
    </mrow>
    <annotation encoding='MuPAD'>
      int(exp(x^2)/x, x)
    </annotation>
  </semantics>
</math>

```

Figura 9. Marcador PMathML generada por MuPad de Matlab

```

generate::MathML(hold(int)(exp(x^2)/x, x), Presentation = FALSE)
<math xmlns='http://www.w3.org/1998/Math/MathML'>
  <semantics>
    <apply>
      <int/>
      <bvar>
        <ci>x</ci>
      </bvar>
      <apply>
        <divide/>
        <apply>
          <exp/>
          <apply>
            <power/>
            <ci>x</ci>
            <cn type='integer'>2</cn>
          </apply>
        </apply>
        <ci>x</ci>
      </apply>
    </apply>
    <annotation encoding='MuPAD'>
      int(exp(x^2)/x, x)
    </annotation>
  </semantics>
</math>

```

Figura 10. Marcador CMathML generada por MuPad de Matlab

CAPÍTULO III

DISEÑO DE SOFTWARE

En el siguiente capítulo se describirá el proceso del desarrollo de la aplicación, en el cual se detallará desde la base inicial del proceso donde se obtiene el código de la representación matemática, pasando a la generación de audio monofónico, para por último procesarla y generar el audio tridimensional. Se presentará la realización del modo gráfico para que la persona no vidente pueda utilizar el programa mediante el teclado.

3.1. Necesidad de instituciones estudiantiles para la inclusión social

En Ecuador no todas las instituciones tienen los implementos necesarios, ni los profesores aptos para enseñar diferentes materias a estudiantes con algún tipo de discapacidad, no obstante, la discapacidad visual genera una complicación mayor para dejar enseñanzas entre este grupo de personas. La mayoría de escuelas y colegios de Quito se rigen a la malla curricular impuesta por el Ministerio de Educación, pero según entrevistas realizadas a los estudiantes no videntes en algunas de las instituciones educativas en las que se encuentran no existe la inclusión correcta para facilitar su aprendizaje ya que no todos los profesores están capacitados adecuadamente para enseñar a estos chicos, ni ponen interés en revisar sus tareas y evaluaciones, con lo cual hacen que aprueben el año con la nota mínima. Esto genera que no obtengan los conocimientos adecuados para poder sobresalir, ni estudiar una carrera en el futuro, la mayoría de estudiantes no videntes se deciden por estudiar una carrera social, la cual no implique matemáticas por falta de conocimientos de esta importante materia.

La mayoría de estudiantes con discapacidad visual copian ejercicios matemáticos en lenguaje braille, el restante lo hace mediante un computador con lector de pantalla. Cuando el profesor dicta

el ejercicio, dependiendo de la capacidad de memoria, la velocidad de captación y escritura que tienen los estudiantes, empiezan a copiar en los métodos mencionados anteriormente, por lo que muchas veces necesitan de varias repeticiones para poder anotarlo correctamente, a esto añadiendo el ruido que otros estudiantes generan, más la paciencia del profesor, hace que los estudiantes con discapacidad visual no logren copiar bien el enunciado ya que también se acomplejan por estar pidiendo que se repita el ejercicio varias veces y retrasando la clase.

Con estos antecedentes se decidió realizar una aplicación que tiene como objetivo probar si al unir expresiones matemáticas con audio tridimensional, facilita la comprensión del ejercicio en su ubicación espacial, adicionalmente para mejorar su funcionalidad se pretende programar la aplicación para que pueda repetir las veces que sea necesaria la expresión algebraica, permitiendo que el estudiante con discapacidad visual no interrumpa la clase y pueda escribir el enunciado de una manera correcta, para poder resolverlo posteriormente. Adicionalmente, se quiere generar que exista una mejor comprensión del enunciado, con lo cual se implementa el audio tridimensional para expresar una perspectiva espacial de donde se encuentra cada elemento de una ecuación, iniciando en el oído izquierdo y rotando el ángulo azimutal de cinco en cinco grados, con un ángulo de elevación de cero grados respecto al nivel de los oídos del usuario, generando así una perspectiva de movimiento y ubicación de la expresión algebraica.

Para poder facilitar la comprensión y diferenciación dentro de los elementos de las expresiones algebraicas se utilizaron dos voces, una de hombre y otra de mujer, en las cuales se usaron modificadores de voz, para expresar súper índices y subíndices. El objetivo del uso de este cambio de voces ayuda a que el estudiante con discapacidad visual pueda relacionar el tipo de voz escuchada con los elementos dentro de una expresión matemática.

3.2. Ingreso de expresiones algebraicas

El programa está diseñado para que funcione con *text-to-speech*, con lo cual se necesita ingresar una expresión matemática, la cual será convertida de simbología algebraica a texto, y luego leído por el lector de pantalla, posteriormente procesada para generar el audio tridimensional de la ecuación ingresada previamente; la manera más factible para el ingreso de una expresión matemática se encontró con la codificación de lenguaje MathML, ya que se tiene una descripción total de la formula, con todos sus operadores, además de que este lenguaje puede diferenciar sub índices, súper índices y cualquier operación.

Al ver la factibilidad de uso de esta codificación de notación matemática se investigó y se logró encontrar un programa llamado TexToEs, realizado por Luis Thur, este es un software desarrollado en lenguaje de programación Python, que sirve para el ingreso de una expresión matemática en lenguaje CMathML o en lenguaje Latex, la convierte en texto plano y la compara con una base de datos de prueba que posee internamente la aplicación como se observa en la figura 11. (Thur, 2016). Esta aplicación tuvo que ser editada para aislar varios de sus componentes, ya que lo que este proyecto necesitaba era el ingreso del código CMathML de una fórmula matemática al programa y que este devuelva el texto traduciendo la expresión matemática en forma de palabras, con lo cual no se utilizó las comparaciones que normalmente el programa realiza.

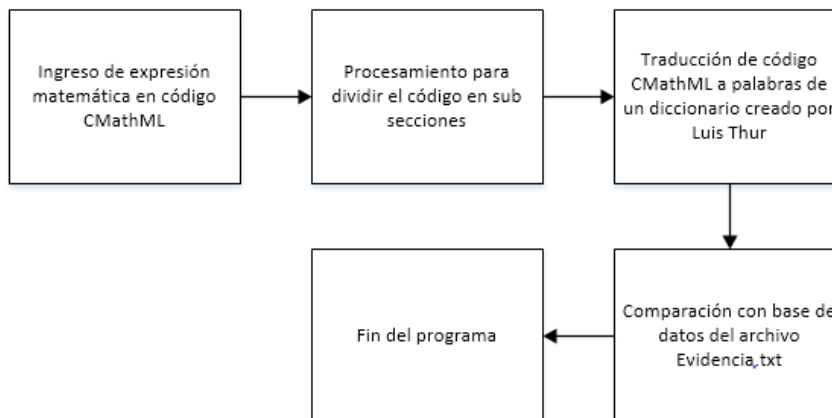


Figura 11. Diagrama de bloques de funcionamiento de programa TexToEs

Para la generación de código CMathML se utilizó Matlab ya que el resto del programa está desarrollado en este lenguaje, con lo cual se utilizó la herramienta MuPad, ya que genera el código que se necesita además de presenta en forma gráfica la expresión matemática para no generar errores de tipografía. Adicionalmente como informativo se encontraron varias formas de crear el código CMathML, como los siguientes programas:

- Matlab con MuPad
- Word con MathType
- MathToWeb
- MathML Central
- Wiris

En la figura 12 se puede observar el proceso de conversión de una expresión matemática a código CMathML con el editor MuPad de Matlab.

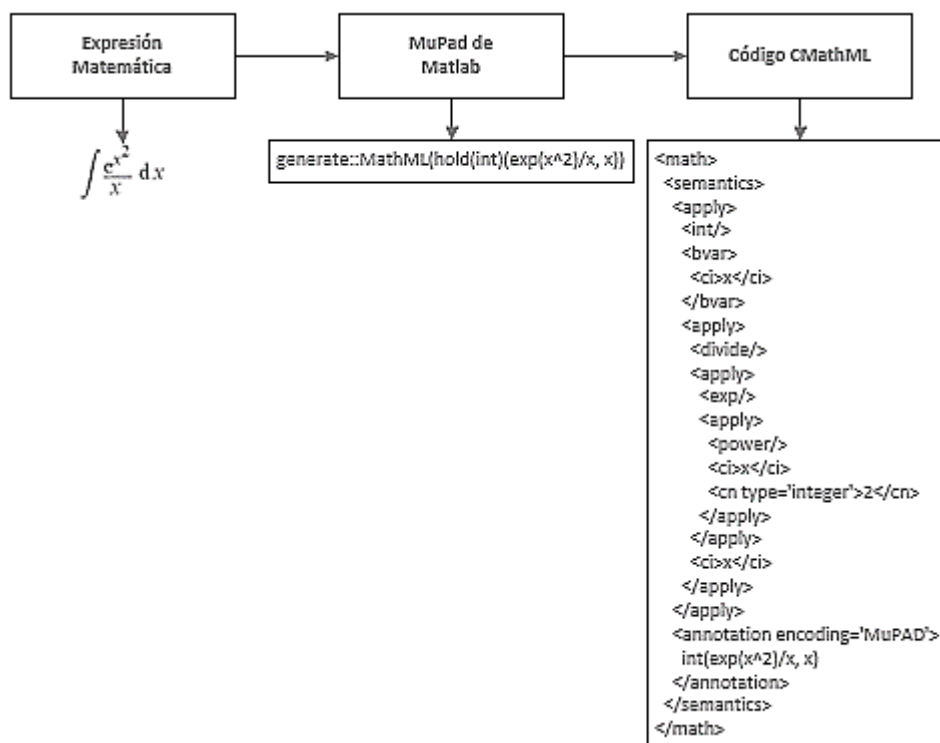


Figura 12. Diagrama de bloques para la conversión a código CMathML mediante el editor MuPad de Matlab

En la figura 13 se describe el diagrama de bloques de la primera parte del proyecto con el uso del programa TexToEs para generar el texto de la expresión matemática a palabras. En la primera parte se presenta que ya se posee el código CMathML, al ser un lenguaje orientado a páginas web se tiene en formato .XML, este código se ingresará en el programa TexToEs, después de haber aislado al programa en lo que se necesita para que no realice procesos innecesarios, este obtendrá el código, lo separará varias veces hasta obtener el inicio y final de cada parte de la expresión codificada, lo realiza mediante la comparación de los signos `<tag>` el cual significa inicio de una parte de la expresión y `</tag>` el final de la misma parte. A continuación, el programa va realizando una comparación con una plantilla creada por el mismo autor para traducir parte por parte, toda la expresión que fue separada, guardando en una variable auxiliar. Por último, el programa genera el texto de la ecuación matemática en palabras separado por paréntesis si es necesario.

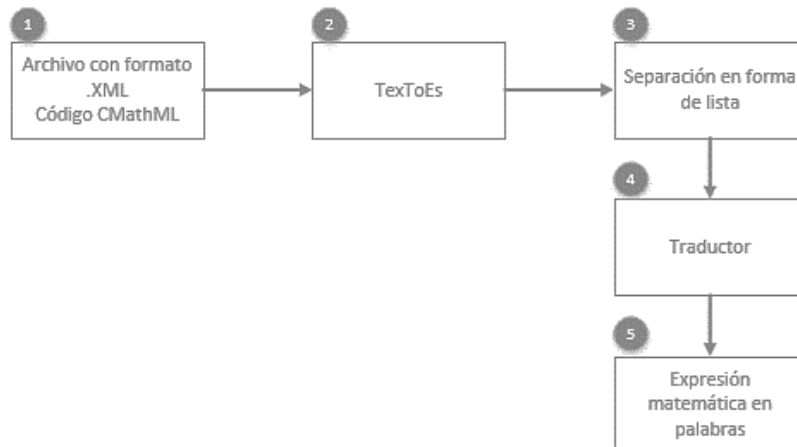


Figura 13. Diagrama de bloques de la traducción de la expresión matemática a palabras con el uso del programa TexToEs

En la figura 14 se puede observar un ejemplo del ingreso de una expresión matemática y el proceso que se realiza para obtener la misma en texto plano.

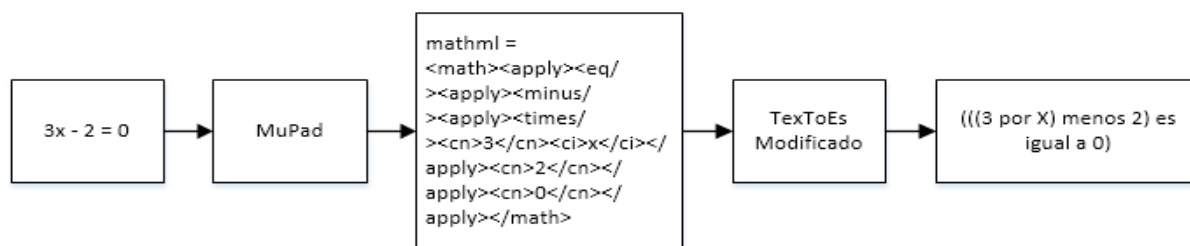


Figura 14. Ejemplo de TexToEs modificado

3.3. Generación de audio monofónico

Al obtener ya el texto de la expresión matemática, se necesita generar el audio de manera monofónica, la manera más factible para la creación del mismo es *text-to-speech*, la cual es una herramienta muy utilizada para la accesibilidad de personas no videntes para poder usar aparatos electrónicos como el computador o celular, ya que este va leyendo la pantalla de estos equipos, lo cual permite que el usuario pueda desplazarse dentro de aplicaciones o poder escuchar lo que se está escribiendo como se explicó en el literal 2.3.1.. Con lo cual se probaron varias formas de generar y grabar el audio.

3.3.1. NVDA más Audacity

La primera forma que se intentó generar el audio fue con el lector de pantalla destinado a personas no videntes llamado NVDA (Curram & Teh, 2018), el cual puede ser modificado para leer el tipo de simbología de la pantalla, ya que los lectores vienen destinados para la lectura lingüística de los signos más no para la lectura de notación matemática, con lo que varios símbolos son leídos con diferentes significados como la operación de multiplicación, el cual el lector lo percibía como asterisco, lo cual generaba confusión al entender la expresión matemática. Este lector tiene la factibilidad de editar su diccionario interno, cambiando el nombre de sus símbolos con lo cual se fue adecuando para que se lea de manera matemática que permita parecer a que una persona está dictando la fórmula matemática, como se observa en la figura 15.

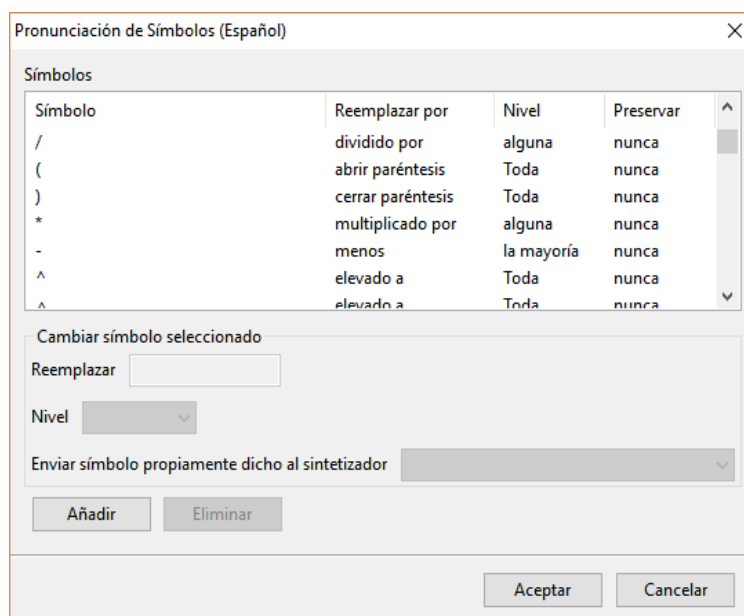


Figura 15. Configuración de lector NVDA para lectura de notación matemática

Al ya obtener una expresión matemática leída correctamente se procedió a grabar el audio, con lo cual se usó la aplicación informática multiplataforma libre para grabación y edición de

sonido llamada Audacity (Voluntarios, 2018), la cual permite grabar, modificar y editar el archivos de audio, lo cual ayuda a cambiar la frecuencia de muestro, quitar pausas innecesarias o grabar en modo monofónico o estereofónico según se lo necesite, dentro del programa se necesita la realización de estos cambios para poder cambiar de tono y velocidad. Este software es muy útil ya que permite grabar internamente la tarjeta de sonido del computador, lo que ayuda a no tener ningún ruido o sonido exterior que dañe la grabación del audio de la expresión matemática. En la figura 16 se tiene el ejemplo de la grabación monofónica de la expresión matemática $4x^2$ en Audacity con sus parámetros, duración y espectro de frecuencia.

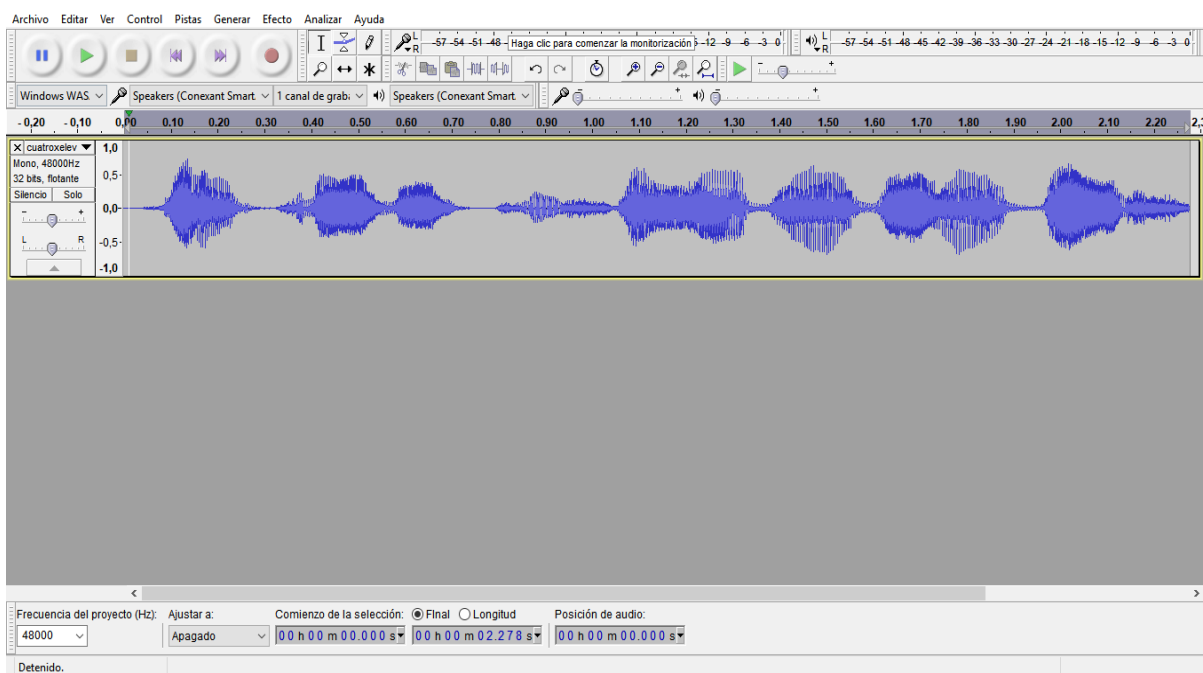


Figura 16. Grabación de ecuación matemática en software Audacity

Al realizar el proceso de lectura y generación de audio, se llegó a la conclusión de que se deben realizar varios pasos para producir el audio deseado, adicionalmente se produce carga al procesador del computador al tener encendido el lector de pantalla, además de tener que presionar la tecla de grabación y pausa, adicionalmente algunas ocasiones se tuvo que editar

el audio por fallas. Con lo que se buscó otra solución la cual no dependa del factor humano en la grabación para evitar errores, entonces se decidió utilizar Matlab con el narrador de Windows como se detalla a continuación.

3.3.2. Matlab más narrador de Windows

Matlab es una extensa herramienta multifuncional, que permite realizar generación de audio gracias a una función obtenida de la página MathWorks, la cual se la nombro tts.m, (Deng, 2008), esta usa la aplicación de narrador de Windows, con lo que tiene el beneficio de poder cambiar el tipo de voz del hablador ya sea hombre o mujer con diferente acento. Otras ventajas de esta función para la utilidad del proyecto es que crea el audio en formato monofónico a 16 bits con 16 KHz por defecto, pero se puede variar la velocidad de reproducción, frecuencia de reproducción y lo principal que se puede generar un archivo de audio automáticamente asignándola a una variable para su posterior utilización. En la figura 17 se puede observar el diagrama de bloques de la generación de audio con la función tts.m.

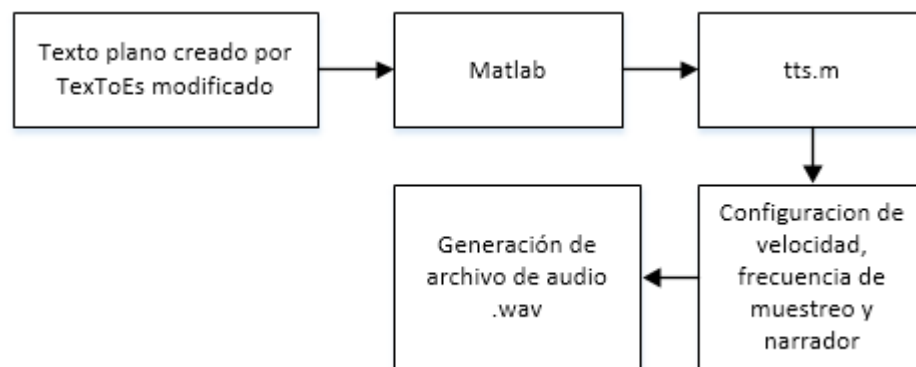


Figura 17. Diagrama de bloques de generación de audio monofónico con Matlab y el narrador de Windows

La manera de ingresar los datos en la función es la que se muestra en la figura 18, donde se coloca primero el texto el cual se quiere leer con el narrador de Windows, después se elige que

voz con el acento del país que se quiere utilizar, la velocidad de la reproducción puede ser variada entre +10 y -10 según lo deseado y por último se coloca la frecuencia en hercios a la cual se quiere reproducir el audio. En este caso se asigna a la variable 'x' la palabra 'abrir paréntesis', para que se archive en audio digitalizado para su posterior uso, la cual será guardada en una matriz de (87069x1) en este caso. Para reproducir en audio monofónico se utiliza la función de Matlab *sound*, en la cual se debe poner la variable que se desea leer con la frecuencia de muestreo que desee reproducir. A continuación, se describe como se debe ingresar datos en la función *tts.m*. Adicionalmente se puede revisar la información de la función en el Anexo A.

Variable = (palabra, narrador de Windows, velocidad, frecuencia de muestreo).

```
>> x=tts('abrir parentesis','Microsoft Sabina Desktop - Spanish (Mexico)',0,44100);
>> sound(x,44100)
```

Figura 18. Ejemplo de utilización de la función *tts.m* en Matlab y reproducción del audio con la función *sound*

3.4. Generación de audio tridimensional

El objetivo de esta sección es la creación de audio tridimensional, el cual será utilizado con las expresiones algebraicas para dar una percepción de movimiento. Con la obtención del audio monofónico en una variable se procede a procesarla, para esto se usara el formato SOFA (MediaWiki, 2018), el cual permitirá generar la percepción de que el audio rota alrededor de la cabeza del oyente usando audífonos, para esto se necesitó investigar sobre diversas bases de datos los cuales han sido creados en cámaras anecoicas con usuarios y maniqués de prueba, teniendo diferente número de bases de datos con la información que se ha recolectado, variando el ángulo azimutal en 360 grados en todos los casos, pero con diferentes salto de ángulos, también existen variaciones en el ángulo de elevación que la mayoría de casos tiene datos entre -45 a 90 grados,

para dar una perspectiva de movimiento de arriba hacia abajo o viceversa. Se determinó que el ángulo de elevación es importante ya que daría una perspectiva diferente para diversas operaciones matemáticas como potenciación, radicación, integrales, sumatorias, etc. Se utilizó este tipo de operaciones ya que tienen subíndices y superíndices, los cuales se las podría expresar en la parte superior o inferior de la cabeza para mejorar la percepción espacial del oyente, pero el inconveniente de este sistema es que la ecualización depende del tipo de oído, forma de oreja y percepción de cada persona, con lo cual no todas las personas logran apreciar este ángulo.

Se realizaron varias pruebas con diferentes bases de datos SOFA, las principales que se obtuvo resultados fueron CIPIC (Thompson, Algazi, Duda, & Avendano, 2001) , la cual fue funcional aunque se presentó un inconveniente sobre las medidas de esta base de datos estaban desordenadas generando un procesamiento extra al tener que primero ordenar según el ángulo de elevación y luego ir filtrando según se necesite con lo cual se la desecho. La segunda base de datos la cual se realizó pruebas fue ARI (Majdak, Goupell, & Laback, 2010), que es bastante conocida por sus resultados pero igualmente sus datos no tenían un orden secuencial con lo cual no se podía trabajar de una manera eficaz, además no se percibía adecuadamente el sector de donde se escuchaba el audio generado confusión el ángulo de elevación. Se realizaron pruebas con otras bases de datos las cuales también tuvieron un impacto negativo, hasta llegar a la base ClubFritz (Andrepoulul, Begault, & Katz, 2015) el cual tenía 12 bases de datos realizado por 12 usuarios diferentes, la cual tenía la ventaja de estar ordenada por ángulo de elevación de -45 a 90 grados con saltos de 5 grados, así mismo su ángulo azimutal varia de 0 a 355 grados con saltos de 5 grados y una distancia de percepción de 1.95 metros, dando como resultado 2016 posicionamiento de sonido alrededor de la cabeza.

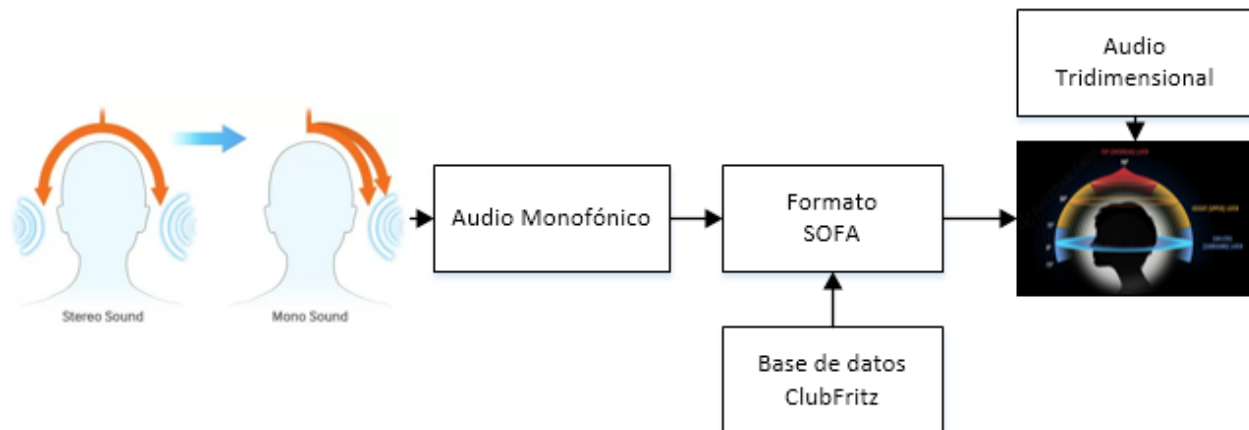


Figura 19. Diagrama de bloques de generación de audio tridimensional con formato SOFA

En la figura 19 se puede apreciar el diagrama de bloques de la generación de audio tridimensional con la ayuda del formato SOFA, como se aprecia se puede tener audio estereofónico inicialmente, el cual debe ser convertido en audio monofónico, el cual va a ser filtrado con el formato SOFA y con la ayuda de una base de datos con información de ubicaciones espaciales de ángulos en coordenadas esféricas, para al final obtener el audio tridimensional. Después de haber decidido la base de datos que se utilizaría se crearon funciones en Matlab para separar palabra por palabra de toda la oración que fue creada de la expresión matemática y guardando en una lista, ya que se tendría palabras con diferentes dimensiones, este procedimiento se realiza para que cada palabra se ubique en un ángulo diferente alrededor del oyente. Al obtener esto se procedió a realizar la medición de longitud de cada una de las palabras con el comando de Matlab *length*, y dependiendo de su longitud se decidió dividirla en 2 partes si son menores o iguales a 7 caracteres y en 3 partes si son mayores que 7 caracteres, esto se realizó para percibir el movimiento de las palabras en ángulos diferentes y apreciar el movimiento del audio.

Para que el audio gire alrededor de la cabeza se tiene 72 grados en azimut para un ángulo de elevación de 0 grados, los cuales empezarían en 0 grados que se encontraría al frente de los ojos y

continuara girando con saltos de 5 grados en forma anti horaria hasta completar los 355 grados que daría la perspectiva de una vuelta entera alrededor de la cabeza, ya que se eligió la base de datos antes mencionada. Pero para representar una expresión matemática se debe empezar en el oído izquierdo que se encontraría en un ángulo azimutal de 90 grados y ángulo de elevación de 0 grados, girando con saltos de 5 grados en manera horaria, para percibirla mentalmente dando a conocer que la ecuación que se indica se la puede leer de izquierda a derecha. En la figura 20 se puede determinar los ángulos azimutales alrededor de un oyente, hay que destacar que el movimiento que se quiere expresar esta desde 90 grados hasta 270 grados en sentido horario y un ángulo de elevación de 0 grados.



Figura 20. Ángulos azimutales con elevación de 0 grados

3.5. Interfaz gráfica

Para que la aplicación sea accesible para personas con discapacidad visual se realizó una interfaz gráfica en Matlab, la que permite utilizar las teclas para movilizarse dentro del programa, así facilitando su manejo además de familiarizarse con la tecnología, además para que puedan realizar las pruebas de la aplicación. La interfaz esta presentada en la figura 21.

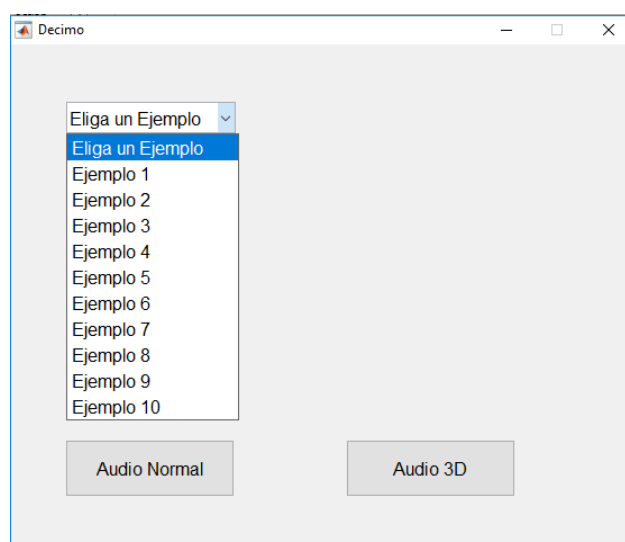


Figura 21. Interfaz gráfica del programa

Como se puede observar la interfaz gráfica es sencilla, consta de una lista desplegable y dos botones, el objetivo de la aplicación es la reproducción de audio monofónico y audio tridimensional de expresiones matemáticas con interfaz gráfica para el uso de personas no videntes.

La lista desplegable sirve para seleccionar el ejemplo el cual va a ser ejecutado, después de la elección del mismo se puede presionar el botón de Escuchar Normal, para que la aplicación genere el audio en formato monofónico, en cambio sí se presiona el botón Escuchar 3D la aplicación presentara el audio modificado dando una percepción espacial, con modificadores de voz los cuales serán explicados más adelante en el proyecto. Esta interfaz fue realizada para que una persona vidente, que podría ser el profesor elija el ejemplo el cual requiere que se resuelva y presentarla en el audio que la persona con discapacidad visual prefiera.

En cambio, para que la persona no vidente pueda utilizar la aplicación se lo adaptó para que funcione mediante el teclado, esta adaptación se realizó para que la persona no vidente pueda usar la aplicación y así obtener los resultados y saber si el audio tridimensional es útil para mejorar el entendimiento de expresiones matemáticas como se puede observar en la figura 22.



Figura 22. Funcionamiento de la aplicación con el uso del computador

Cuando se inicia el programa el usuario debe elegir el ejemplo que desea escuchar movilizándose con las flechas de arriba y abajo, cada que este presione la tecla escuchará el número de ejemplo en el cual se encuentra, cuando sea el primer o el último ejemplo sonará un tono el cual les permitirá entender que no existen más ejemplos. Para escuchar el audio tridimensional se debe presionar la barra espaciadora, esta reproducirá el ejemplo, el usuario puede oprimir esta tecla para repetir el ejemplo las veces desee para escuchar la expresión matemática. Si se genera una dificultad de comprensión de la notación matemática se puede usar la flecha de la derecha la cual permitirá desplazarse de elemento en elemento cada que se la presione, cuando ya se termine la expresión se escuchará un tono que significa que no existe ningún elemento más. La flecha izquierda permite reiniciar a la posición inicial la secuencia mientras se está utilizando el desplazamiento con la flecha derecha, para repetir desde el inicio la expresión las veces que el usuario desee. En la figura 23 se puede apreciar las teclas que se utilizan en la aplicación.

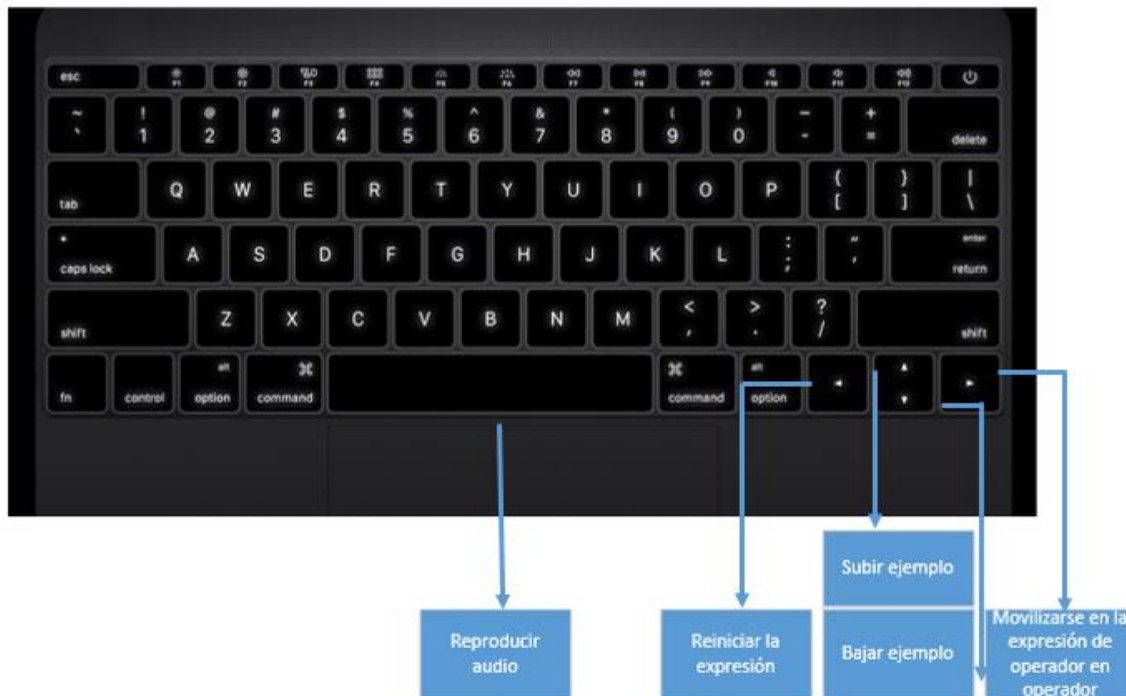


Figura 23. Teclas con su respectiva funcionalidad dentro de la aplicación

A continuación, se procede a presentar el funcionamiento interno de la aplicación con interfaz gráfica, esta se conforma de la programación en el modo gráfico de Matlab (GUI), que contiene funciones las cuales se van llamando dependiendo el requerimiento. La aplicación principal posee 3 variables globales que se crearon para poder guardar datos según se los vaya necesitando.

La primera parte de la aplicación se programó el modo de usabilidad para personas no videntes, se inició con las teclas de arriba y abajo, donde se utilizó la variable global “sig”, la cual está destinada para ir almacenando la posición del ejemplo en el cual se encuentra, cuando se presiona la tecla con flecha para abajo se creó un contador el que permite ir sumando una unidad la cual podrá continuar la secuencia de ejemplos, adicionalmente en variables auxiliares se fue creando una cadena de texto que con el uso de la función tts.m se reproducirá el nombre del ejemplo en el cual se encuentra el usuario, la misma función realizara la flecha para arriba solo que esta restara una unidad cada que se la presione. En esta parte se reiniciará las variables globales mover y azimut

para cada ejemplo. Cuando ya no existan más ejemplos se generará el sonido de un tono con volumen bajo para no afectar el oído.

A continuación, se programó la tecla de la barra espaciadora la cual usa dos funciones `ejemplolin.m` y `ejemplos.m`. El programa de prueba se realizó con diez ejemplos en los cuales se presentó cinco expresiones matemáticas en audio monofónico que fueron las expresiones impares y cinco expresiones matemáticas en audio tridimensional que se colocó en las expresiones pares. La función `ejemplolin.m` que se puede encontrar en el Anexo C, tiene de variable de entrada el texto de la expresión matemática sin dividirla, esta llama a la función `tts.m` y se reproduce el audio con una frecuencia de muestreo de 44100 Hz. En la figura 24 se puede apreciar el diagrama de flujo del programa principal. Adicionalmente se puede encontrar la programación de la interfaz gráfica en el Anexo B.

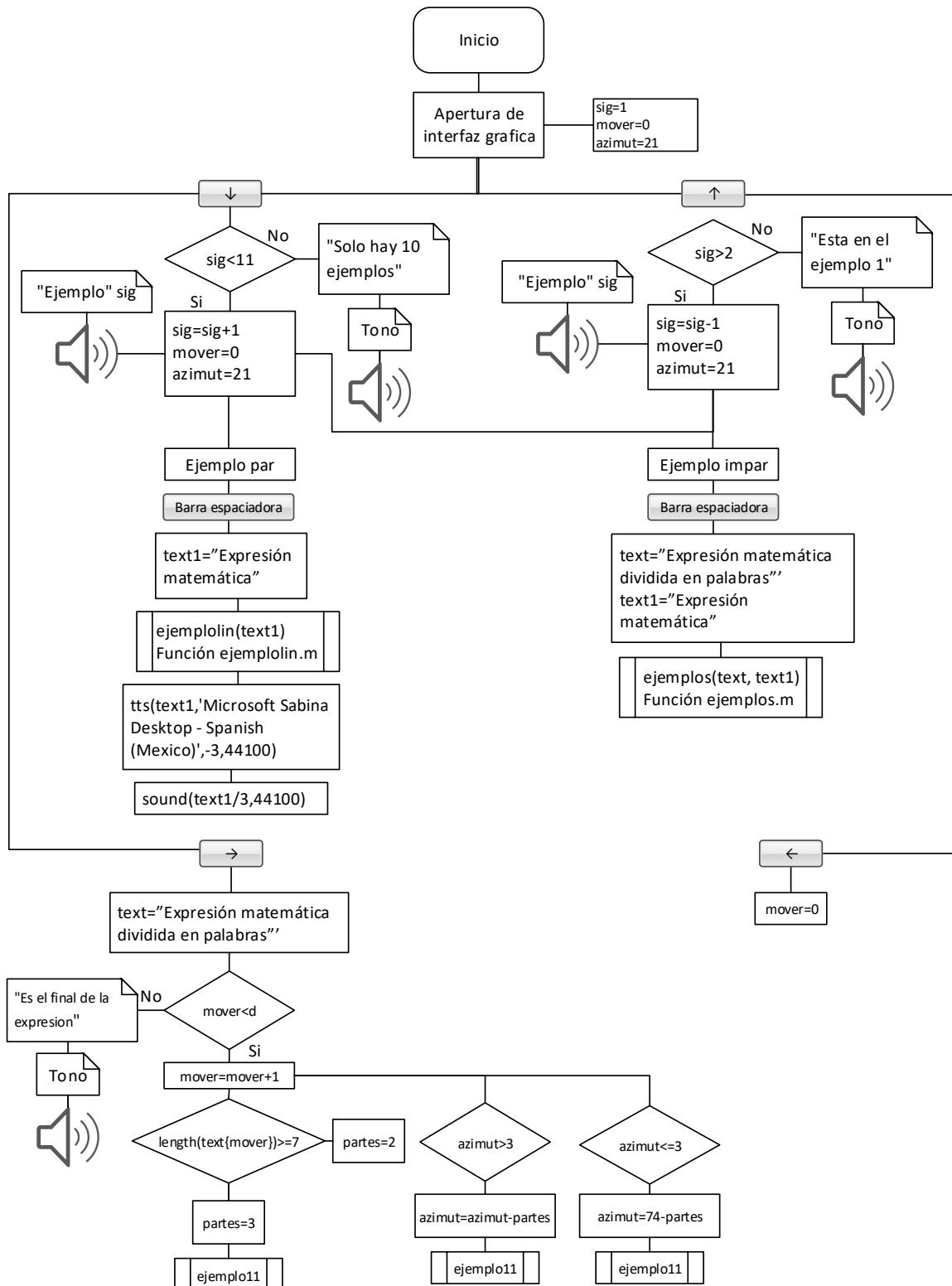


Figura 24. Diagrama de flujo de programa principal (interfaz gráfica)

En cambio, la función `ejemplos.m` que se puede encontrar en el Anexo D, es la que genera el audio tridimensional, utiliza el texto separado como variable de entrada, inicializa el formato SOFA llamando a la función `SOFStart.m`, a continuación, se carga la base de datos la que se requiera utilizar en este caso se usó `ClubFritz1.sofa`, esta se puede descargar de la página oficial del formato SOFA. Se inicializa la variable `azimut` con un valor de 21, que representa dentro de la base de datos utilizada el ángulo azimutal de 90 grados, que daría la ubicación del oído izquierdo para el inicio de la reproducción de sonido. Se creó una sentencia *for* la cual empezara en la primera palabra de la lista de vectores separados que poseen las palabras de la expresión matemática en cada casilla, y terminara en la última palabra de la ecuación. Dentro de este se efectuará comparaciones dependiendo de cada palabra de la lista de vectores para reproducirlo con diferentes características como son las que se mencionan a continuación.

- Abre paréntesis, cierra paréntesis, fin del radical, numerador, denominador y fin de la fracción. Estas palabras se las configuro con mayor velocidad para que no genere demasiada carga mental, estas serán habladas por el narrador 'Microsoft Raul - Spanish (Mexico)' con una velocidad de dos a una frecuencia de muestreo de 44100 Hz y con un ángulo de elevación de 0 grados.
- Las operaciones básicas como más, menos, por, dividido serán reproducidas con una velocidad de reproducción de -2 para generar mejor captación, frecuencia de muestreo de 44100 Hz, ángulo de elevación de 0 grados y el narrador será 'Microsoft Sabina Desktop - Spanish (Mexico)'.
- Para súper índices como radicales y potenciación se determinó una reproducción de audio con las siguientes características, velocidad menos dos, frecuencia de muestreo de 44100

Hz, ángulo de elevación de 90 grados y el narrador será 'Microsoft Sabina Desktop - Spanish (Mexico)'.

- Para sub incidencias se configuró con una velocidad de 0, frecuencia de muestreo 44100 Hz, ángulo de elevación -45 grados y el narrador será 'Microsoft Sabina Desktop - Spanish (Mexico)'.
- Para números y variables se configuró con velocidad de reproducción cero, frecuencia de muestreo 44100 Hz, ángulo de elevación cero y el narrador 'Microsoft Raul - Spanish (Mexico)'.

Después de terminado el bucle se tiene varias estructuras condicionales, la primera que se colocó sirve para generar al número de divisiones que tendrá cada palabra, para esto se obtiene el tamaño de la palabra si esta es mayor o igual a siete se procede a recortar en tres partes a la palabra, en cambio si no cumple esta condición será partida en dos partes. Como fue mencionado el ángulo azimutal se encuentra en 90 grados, el cual coincide con la posición 19 dentro de la base de datos usada, como se debe mover de manera horaria el audio se ira restando el número de partes del condicionador anterior, esto quiere decir que si se empieza en la posición 19 y la palabra que se tiene es “tres” que es menor a 7 letras, este procede a restar 21-2 dando como resultado la posición 19 ubicando en 90 grados a la primera división de la palabra, esto se lo realiza para que las particiones no se solapen en un mismo ángulo azimutal, cuando esta variable llega a 0 se empieza a restar pero en la posición 74, esto se realiza para que el ángulo azimutal se encuentre en 355 grados después de pasar 0 grados. Esto puede seguir disminuyendo hasta llegar a 270 grados en donde se encontraría el oído derecho, cuando las expresiones matemáticas son más extensas, el audio gira por la parte trasera de la cabeza, generando el movimiento los 360 grados. Para finalizar esta función envía variables con información necesaria para ya crear el audio tridimensional y dar

la perspectiva de espacialidad en la expresión matemática a la función llamada rs3d1.m. También se colocó una pausa para que no se solapen los audios que van a ser generados, este se la realiza con la longitud del audio dividido para su frecuencia de muestreo. En la figura 25 se puede apreciar el diagrama de flujo de la función ejemplos.m.

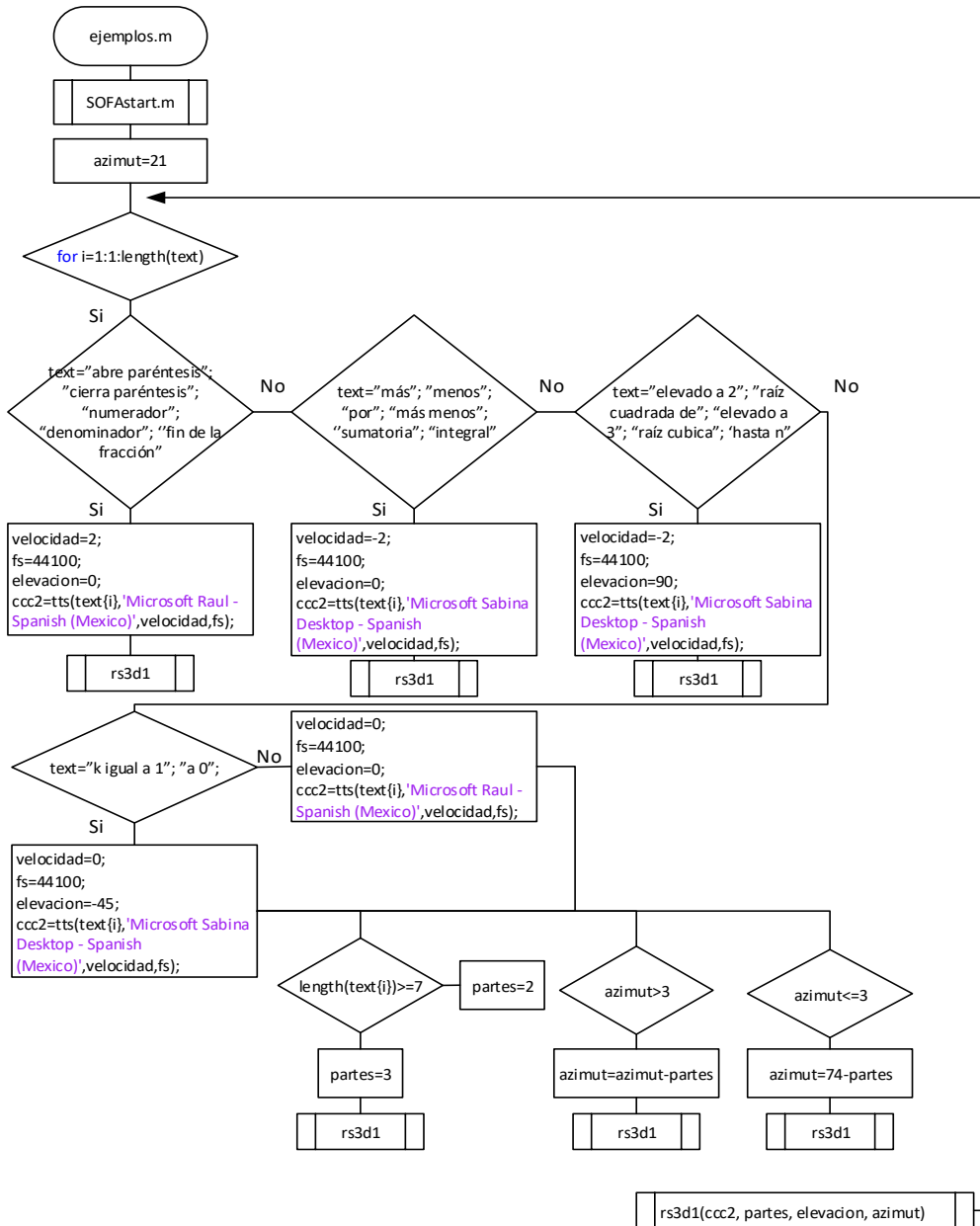


Figura 25. Diagrama de flujo de función ejemplos.m

Por último, se creó la función `rsd1.m` que se puede encontrar en el Anexo E, la cual ejecuta el formato SOFA, pero para esto se tiene variables de entrada que son las siguientes:

- **Archivo de audio:** En esta variable se debe ingresar el audio monofónico de cada parte de la expresión matemática para dividirla e ir colocándola en cada ángulo asignado.
- **Partes:** Esta variable adquiere la información de la función `ejemplos.m` en la que se fue dividiendo las palabras dependiendo la longitud de cada una en dos o tres partes.
- **Elevación:** Esta variable se adquiere la información de la función `ejemplos.m` en la que se encuentra el ángulo de elevación dependiendo del tipo de operador que puede ser -45, 0 o 90 grados, estos ángulos se eligió ya que son fáciles de identificar cuando existe movimiento.
- **Azímüt:** Esta variable adquiere información de la posición en la cual se encuentra cada parte de la palabra dividida con su respectivo ángulo.

Después de cargar las librerías y funciones para la operatividad del formato SOFA, al ser un software libre se lo obtuvo de la página GitHub (Baumgartner, Brinkmann, & Majdak, 2017). Del audio monofónico generado anteriormente, se obtiene la longitud del audio para luego separarlo dependiendo el número de partes que ha sido dividida, esta se la aproxima a un número entero. Con la función “*find*” de Matlab se busca dentro de la base de datos `ClubFritz1.sofa` el ángulo de elevación al cual se quiere procesar la palabra, este devolverá las 72 posiciones con el mismo ángulo. Se crea una variable llamada “*salida*”, en esta se ira guardando cada parte de la palabra dividida luego de ser procesada para unirla. Dependiendo del ángulo de elevación que se tiene se realizaron tres condiciones para modificar las voces de los narradores, esto se lo realiza para que

si no logran captar el audio en una posición en la parte superior o inferior de la cabeza, la relacionen dependiendo el tono de voz escuchado, por lo cual se crearon los siguientes contextos:

- Si la elevación es de -45 grados, la salida se reproducirá con una frecuencia de muestreo de 35000 Hz, esto se lo hace para que la voz se escuche más grave.
- Si la elevación es de 0 grados, la salida se reproducirá con una frecuencia de muestreo de 44100 Hz, para que se escuche la voz de manera normal.
- Si la elevación es 90 grados, la salida se reproducirá con una frecuencia de muestreo de 51000 Hz, esto se lo hace para que la voz se escuche más aguda.

Dentro de estas condiciones se crea un bucle el cual empezara en uno y terminara en el número de partes por división de cada palabra. Se crea una variable índice la cual servirá para cortar los audios ya que al crearlos en el Matlab con el narrador se generan pausas que no se perciben de manera individual, pero al unir cada parte de la palabra en la variable salida se aprecian lo que provoca que no se escuche un audio nítido. En la variable “*soundOutput*” se realiza el filtraje de la señal con el formato SOFA y la base de datos elegida, en este se debe colocar la posición en la cual se apreciará el audio de la palabra, esta genera que el sonido se cree en dos canales, lo que generará la perspectiva de tridimensionalidad. Para finalizar con la reproducción de cada parte de la expresión matemática dividida. En la figura 26 se puede apreciar el diagrama de flujo de la función rs3d1.m.

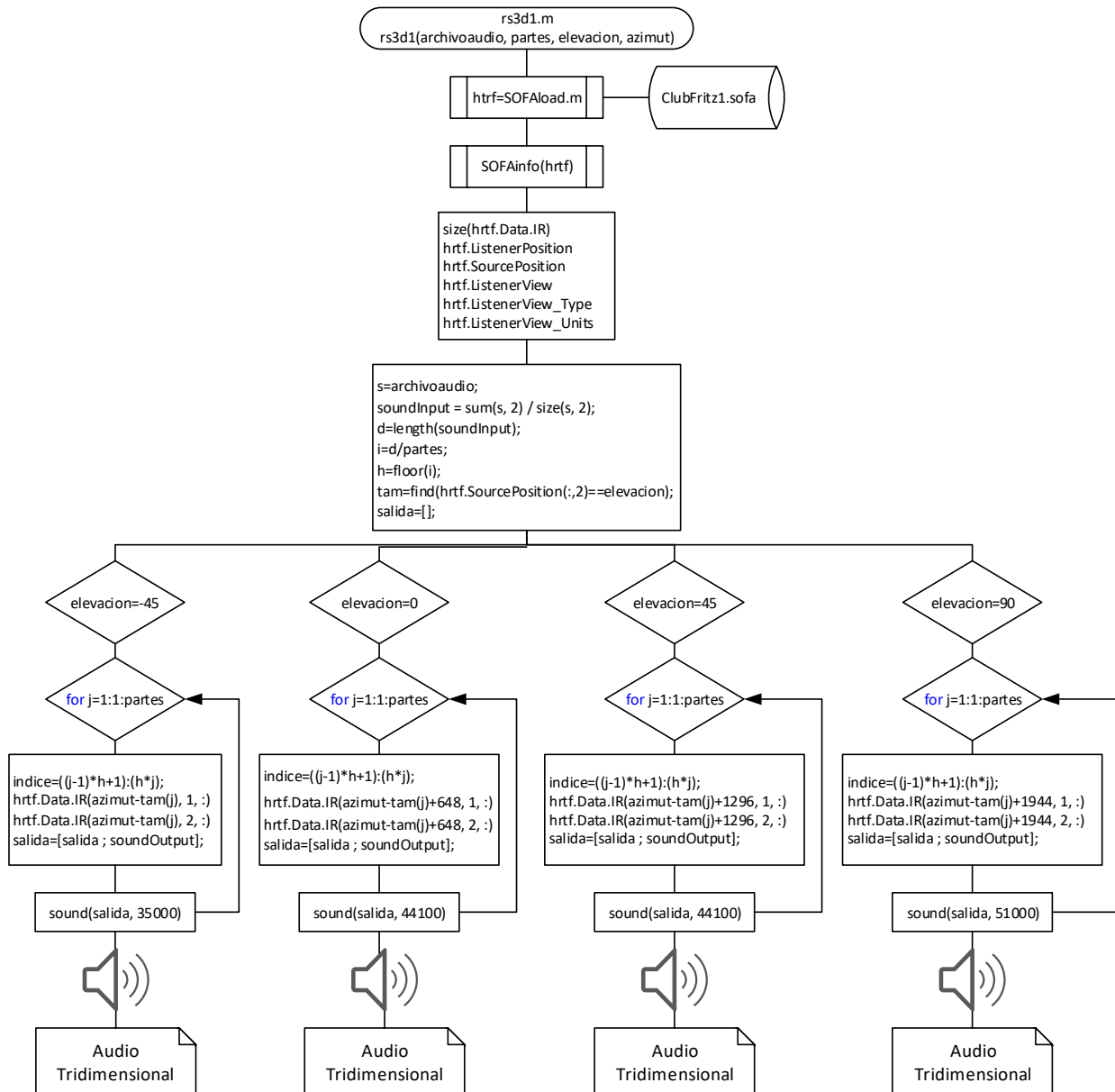


Figura 26. Diagrama de flujo de función rs3d1.m

Para la tecla flecha derecha que sirve para movilizarse de elemento en elemento de la expresión matemática, primero se determina el texto dividido en lista que se encuentra en el ejemplo, a continuación se crea un contador llamado mover, el cual permitirá ir sumando una unidad cada que se lo presione. Se crean condicionales para el número de partes en la cual se va a dividir cada palabra y para determinar la posición de ángulo azimutal dentro de los 360 grados como ya fue

explicado anteriormente. Esta información se envía a una función llamada `ejemplo11.m`, si la variable `mover` es mayor que la longitud de la cadena de texto aparecerá un mensaje el cual indicara que finalizo la expresión además sonará un tono para que la persona no vidente identifique que ya no hay más elementos.

La función `ejemplo11.m` que se puede encontrar en el Anexo F, es similar a la función `ejemplos.m`, la diferencia es que cada palabra que se encuentra dentro de la cadena de texto será procesado individualmente, y ya no se usaría el bucle para realizar de una sola vez la generación de audio. Esta función envía igualmente todos los datos a la función `rs3d1.m`, y esa se encarga de generar el audio tridimensional individualmente. La tecla de la flecha izquierda que sirve para reiniciar el funcionamiento de la tecla derecha, cada que sea presionada iguala a cero a la variable `mover`, con lo cual si se presiona la tecla derecha esta iniciara desde la primera palabra de la expresión matemática. En la figura 27 se puede apreciar el diagrama de flujo de la función `ejemplo11.m`.

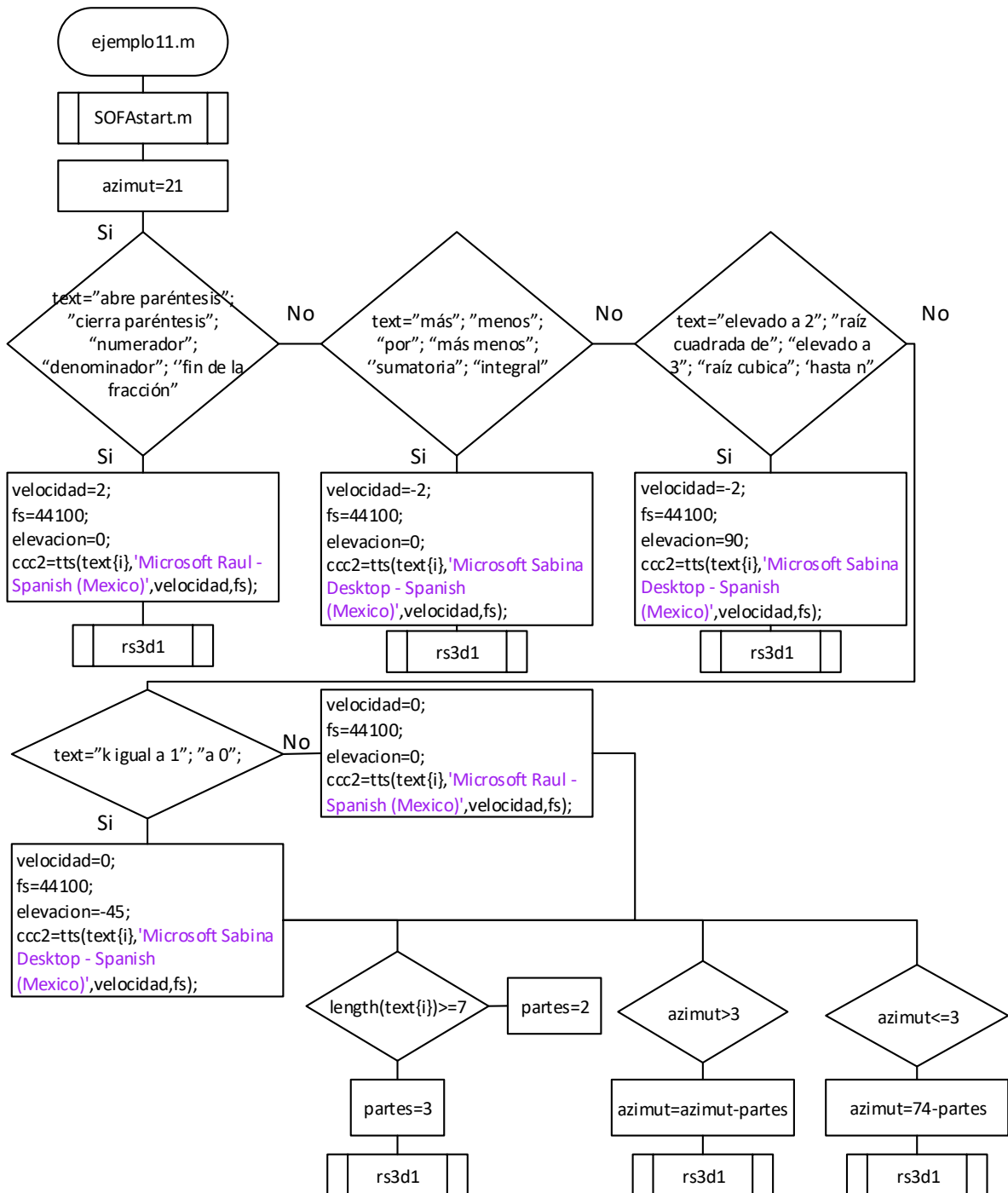


Figura 27. Diagrama de flujo de función ejemplo11.m

Para los botones que se encuentran en la interfaz gráfica se los programó con la utilización de las funciones explicadas anteriormente, con lo que se puede mencionar que cuando se presiona el botón “Escuchar Normal”, esta enviará el arreglo de texto a la función ejemplo11.m, en cambio si

se presiona el botón “Escuchar 3D” este enviara los datos necesarios a la función ejemplos.m, generando igualmente el audio tridimensional. Dando así un funcionamiento mediante las teclas explicadas y una interfaz gráfica.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En este capítulo se explicará cómo se realizaron las pruebas con la aplicación según el diseño descrito en el capítulo 3, el objetivo de este capítulo es explicar la manera como las pruebas fueron realizadas para obtener resultados sobre la experiencia del uso de expresiones matemáticas con audio tridimensional. El desarrollo de este programa fue realizado con diversas aplicaciones y funciones, los cuales se mencionan en la tabla 1.

Tabla 1

Tabla de aplicaciones y funciones utilizadas para el desarrollo del programa

Tipos	Nombre	Versión
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	MATLAB	R2015a
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	JetBrains PyCharm	Community Edition 2017.2.4
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	Python	2.7
Función desarrollada por externos	<i>text-to-speech</i>	1.0
Función desarrollada por externos	TexToEs	--
Función desarrollada por externos	Formato SOFA	V0.3
Base de datos para el formato SOFA	ClubFritz1.sofa	--
Sintetizador de voz	Microsoft Raúl y Sabina	Abril 2018

4.1. Grupo de pruebas

La aplicación está desarrollada para estudiantes con discapacidad visual que se están cursando octavo de básica hasta tercero de bachillerato que se encuentran en colegios o instituciones de aprendizaje con inclusión social. A pesar de que el estado ecuatoriano determinó que todas las instituciones deben tener inclusión social para todo tipo de discapacidad, en muy pocas instituciones se encuentra a estudiantes no videntes, por lo cual fue un trabajo arduo encontrar a estudiantes con estas características. Con la ayuda de la madre de un joven no vidente se obtuvo información de dos lugares a los cuales se acudió a la realización de las pruebas.

- El Colegio “Leonardo Ponce Pozo” (InfoEscuelas, 2018) es una institución la cual tiene inclusión para personas con discapacidad visual, en este se encuentran estudiando ocho jóvenes entre octavo de básica a tercero de bachillerato, los profesores de matemática para su enseñanza aprendieron el lenguaje braille. Al ser un establecimiento con estudiantes videntes y no videntes existe bastante ayuda de los compañeros para el desplazamiento y solventar algunas necesidades de los estudiantes con discapacidad visual.
- En el Centro de Formación y Capacitación Laboral para Ciegos (Solidario, 2018), ayudan a personas con discapacidad visual de todas las edades a aprender a moverse, uso de bastón, lectura braille, a usar la tecnología como computadoras con sus respectivos lectores de pantalla. Gracias a la ayuda de la coordinadora del lugar se pudo encontrar a cinco jóvenes, de distintos colegios de Quito los cuales anteriormente habían asistido al lugar.

En ambos lugares se encontró con historias de los jóvenes con discapacidad visual de cómo han tenido que vivir la época de escuela y colegio, casi ninguno está en la edad correcta en el cual se toma cada curso. Varios estudiantes mencionan que en otras instituciones que han estudiado no hay inclusión, que suelen pasar las materias con el mínimo puntaje para la aprobación del curso

que es 7.0 sobre 10.0, esto se da por falta de conocimientos de los profesores de como calificar, leer braille o buscar la manera de incluir a los jóvenes invidentes en sus clases. En cambio, otros estudiantes por el afán de sus padres de incluirlos en la sociedad y que aprendan, han recibido cursos extracurriculares los cuales han ayudado para que sean independientes y puedan recibir clases normales.

Por lo cual se realizó la entrevista a 8 estudiantes con discapacidad visual en el Colegio “Leonardo Ponce Pozo”, los cuales se encuentran en edad desde 13 a 19 años. Y en el Centro de Formación y Capacitación Laboral para Ciegos se convocó a 5 estudiantes en edad de 14 a 19 años. Cabe recalcar que la mayoría de estudiantes no se encontraban cursando el grado que correspondía a su edad.

Adicionalmente se realizó la entrevista con un profesor de matemática no vidente llamado Wladimir Ganchala, el cual da clases particulares a otros profesores para que aprendan las fallas que tienen al enseñar a estudiantes con discapacidad visual. El también da clases particulares de matemática, enseñando el lenguaje braille y dando sus experiencias para transcribir bien una expresión matemática de mejor manera para después de entenderla, poder resolverla.

4.2. Forma de realización de las pruebas

Para la realización de pruebas se contó con cincuenta expresiones matemáticas de ejemplo, las cuales se presentarían según el grado de conocimientos de los participantes. Las ecuaciones fueron elegidas de libros de matemática de octavo de básica a tercero de bachillerato dados por el Ministerio de Educación de la República del Ecuador (Educacion, 2018), de estos se eligieron con profesores del Colegio “Leonardo Ponce Pozo” 50 expresiones matemáticas. Cada ejemplo tenía dos expresiones matemáticas similares una planteada para ser escuchada en audio monofónico y la

consiguiente en audio tridimensional. Las expresiones matemáticas que se utilizaron de ejemplo se encuentran en el Anexo G.

Para probar la aplicación creada para este trabajo, se solicitó la autorización en el Colegio “Leonardo Ponce Pozo”, cada estudiante fue citado para realizar la comprobación de funcionalidad del programa y se realizaron las siguientes tareas.

1. Se iba a traer al estudiante del aula en la que se encontraba ya que las pruebas fueron realizadas en horario de clases.
2. Mientras se trasladaba al aula designada para las pruebas se conversaba con los estudiantes no videntes para saber si les atrae las matemáticas y que quisieran seguir en sus estudios de tercer nivel, esta información se la obtuvo para generar confianza entre los estudiantes además de permitirme conocer sobre sus aspiraciones en el futuro, dando como resultado que pocas personas con discapacidad visual quieren seguir alguna carrera en la cual se tenga que trabajar con matemáticas, también se conoció que no les gustan las matemáticas porque ningún profesor pudo llegar a compartir el conocimiento de una manera adecuada para este grupo vulnerable de la sociedad.
3. Al llegar al aula se les preguntaba si sabían el significado sobre el audio tridimensional.
4. Se colocaba un audio descargado de internet de un ejemplo de audio tridimensional para llamar la atención del estudiante.
5. Se informaba sobre la aplicación sobre la mezcla de audio tridimensional y expresiones matemáticas.
6. Se daba una explicación sobre el funcionamiento de la aplicación y sus modificadores de voz para la diferenciación de elementos.

7. Se colocaba un programa de ejemplo el cual servía para familiarizarse con las teclas de la computadora, voces, tonos y usabilidad.
8. Se colocaba el programa de prueba para que escuchen y transcriban la expresión matemática y repitan las veces que sean necesarias el audio de la ecuación hasta ser completamente entendida. Se mencionaba que los ejemplos impares se escucharan con audio monofónico y los pares con audio tridimensional. Este programa de prueba tenía ejercicios matemáticos según los conocimientos obtenidos, con lo cual se fue modificando según cada estudiante.
9. Al finalizar la transcripción de los ejemplos se procedía a realizar una breve encuesta para obtener información sobre la experiencia del programa
10. Para finalizar la entrevista se pedía que estudiantes ayuden a leer el lenguaje braille que escribieron para poder corregir si estaba correcta la transcripción.
11. Se trasladaba a los estudiantes a su respectivo curso
12. Se repetida desde el paso 1 con el siguiente estudiante.

Para la realización de pruebas en el Centro de Formación y Capacitación Laboral para Ciegos, la coordinadora cito a estudiantes no videntes en diferentes horarios para la realización de la prueba de la aplicación, siguiendo los siguientes pasos.

1. El estudiante con discapacidad visual llegaba al centro, la coordinadora realizaba una presentación del proyecto
2. Se procedía a preguntar sobre el conocimiento matemático y sobre si sabían que es audio tridimensional.
3. Se colocaba un audio descargado de internet de un ejemplo de audio tridimensional para llamar la atención del estudiante.

4. Se informaba sobre la aplicación sobre la mezcla de audio tridimensional y expresiones matemáticas.
5. Se daba una explicación sobre el funcionamiento de la aplicación y sus modificadores de voz para la diferenciación de elementos.
6. Se colocaba un programa de ejemplo el cual servía para familiarizarse con las teclas de la computadora, voces, tonos y usabilidad.
7. Se colocaba el programa de prueba para que escuchen y transcriban la expresión matemática y repitan las veces que sean necesarias el audio de la ecuación. Se mencionaba que los ejemplos impares se reproducían con audio monofónico y los pares con audio tridimensional.
8. Al finalizar la transcripción de los ejemplos se procedía a realizar una breve encuesta para obtener información sobre la experiencia del programa
9. Para finalizar la entrevista se pedía que estudiantes ayuden a leer el lenguaje braille que escribieron para poder corregir si estaba correcta la transcripción.

En el Anexo H se encuentra la documentación del protocolo de pruebas.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describirán los resultados fruto de las pruebas realizadas a estudiantes con discapacidad visual que experimentaron el programa, se contabilizaran los resultados obtenidos para determinar si la utilización de audio tridimensional unido con las matemáticas es una alternativa factible para mejorar el entendimiento y aprendizaje de estudiantes no videntes, además contribuirá a facilitar la enseñanza de profesores a partir del uso de la tecnología.

5.1. Preguntas de la encuesta

En la presente encuesta se quiere obtener información sobre la experiencia de personas no videntes al utilizar el programa para determinar si el método de enseñanza de expresiones matemáticas con audio tridimensional facilita la comprensión y entendimiento para poder transcribirlas. Al ser una encuesta creada para estudiantes con discapacidad visual en la edad de escolaridad entre octavo de básica a tercero de bachillerato se realizó un tipo de entrevista leyendo preguntas y transcribiendo lo que los jóvenes respondan, siendo así preguntas sencillas que brindan información sobre posibles mejoras de la aplicación así mismo expresan si es factible el uso por parte de ellos del programa para mejorar su aprendizaje y entendimiento. Con lo cual se empezaba con preguntas básicas como edad, género y nivel, para poder conocer si se encuentran en la edad adecuada del grado en el cual están cursando. Se colocó una parte para anotar el número de repeticiones que cada estudiante realizaba con cada ejemplo, esto se lo realizó para contabilizar el número de repeticiones y poder considerar cuantas son necesarias para entender todos los elementos de la expresión matemática. A continuación se fue leyendo la encuesta para obtener información sobre su experiencia en el uso del programa, si utilizarán este método de aprendizaje

y obtener recomendaciones para realizar mejoras en un futuro ayudando a que sea utilizable en salones de clases. La encuesta se encuentra en el Anexo I.

5.2. Resultados de la encuesta

La primera parte de la encuesta se diseñó para anotar el número de veces que se repitió el audio del ejemplo según cada estudiante, con lo cual se realizó un análisis de la cantidad de veces que se reprodujo las expresiones matemáticas dando en promedio de que se repitieron 2 veces aproximadamente cada ejemplo como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2

Tabla de repeticiones realizadas por cada estudiante en cada ejemplo presentado

Encuestado	Ejem 1	Ejem 2	Ejem 3	Ejem 4	Ejem 5	Ejem 6	Ejem 7	Ejem 8	Ejem 9	Ejem 10
1	2	2	2	2	2	2	1	3	1	1
2	4	3	5	7	8	7	9	3	2	2
3	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2
4	5	3	4	4	3	5	2	2	4	3
5	2	5	4	5	4	4	6	3	6	3
6	3	3	1	1	1	1	2	1	1	1
7	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1
8	3	2	1	2	1	1	1	2	1	3
9	3	2	1	2	1	1	3	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1
12	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
13	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	2	1	7	1	2	2
	2,29	2,07	2,00	2,29	2,29	2,00	2,86	1,64	1,79	1,64

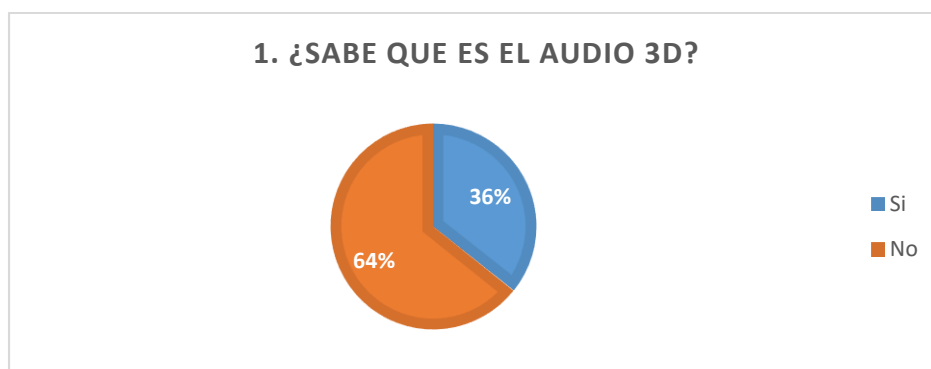


Figura 28. Resultado de la pregunta 1 de la encuesta

La primera pregunta que se realizó era para saber si tenían un conocimiento previo de audio tridimensional, esto para analizar el grado de inclusión que los jóvenes tienen respecto a nuevas tecnologías que podría ayudarles en su vida académica o para conocimiento general del tema. Como se puede apreciar en la figura 28, el 64% de los estudiantes encuestados mencionó que no conocen el significado, ni han probado esta tecnología. Esto ayudo a llamar la atención de los estudiantes al presentar un ejemplo de audio tridimensional (Effects, 2008) además de brindar el conocimiento sobre el tema y su funcionamiento. Con esto se puede concluir que esta tecnología ayuda a llamar la atención en materias como matemáticas generando más impulso para su aprendizaje al ser una tecnología poco utilizada para personas con discapacidad visual.



Figura 29. Resultado de la pregunta 2 de la encuesta

La pregunta dos fue enfocada en obtener información sobre la retención mental y velocidad de entendimiento de los estudiantes al escuchar y transcribir la expresión matemática como se menciona en el capítulo cuatro. Como se aprecia en la figura 29, el 71% de los jóvenes que realizó la prueba mencionaron que la velocidad del audio estaba adecuado para entender la ecuación, en cambio el 29% restante de los estudiantes menciona que estaban en desacuerdo con la velocidad, formulando otra pregunta sobre si desearían que fuera aumentada o disminuida la velocidad, donde se obtuvo que preferirían que la velocidad de reproducción se reduzca. Al conversar con varios de los estudiantes se mencionó que van entrenando al oído para poder entender al narrador que usan en su computador, y su meta es seguir aumentando la velocidad para mejorar su comprensión.



Figura 30. Resultado de la pregunta 3 de la encuesta

En la pregunta tres se quiso obtener información sobre qué tipo de audio prefieren, poniendo como opciones el sonido monofónico y el sonido tridimensional después de haber realizado la prueba como se menciona en el capítulo cuatro. Como se puede apreciar en la figura 30, el 67% de estudiantes eligieron el audio tridimensional mencionando que era algo novedoso que les llamó la atención además de disfrutar al escuchar esta tecnología mezclada con audio de expresiones matemáticas, y poder percibir el movimiento del audio de las ecuaciones matemáticas en su entorno, además que los modificadores de voz les facilitaban a diferenciar el tipo de operador el

cual se iba presentando. En cambio, el 33% restante de estudiantes determinaron que prefieren el audio monofónico mencionando esto puede deberse a que están acostumbrados a escuchar solo un tipo de voz sin movimiento, pero que en un futuro después de utilizar el audio tridimensional si se acostumbrarían ya que les parece algo útil y factible para su aprendizaje.

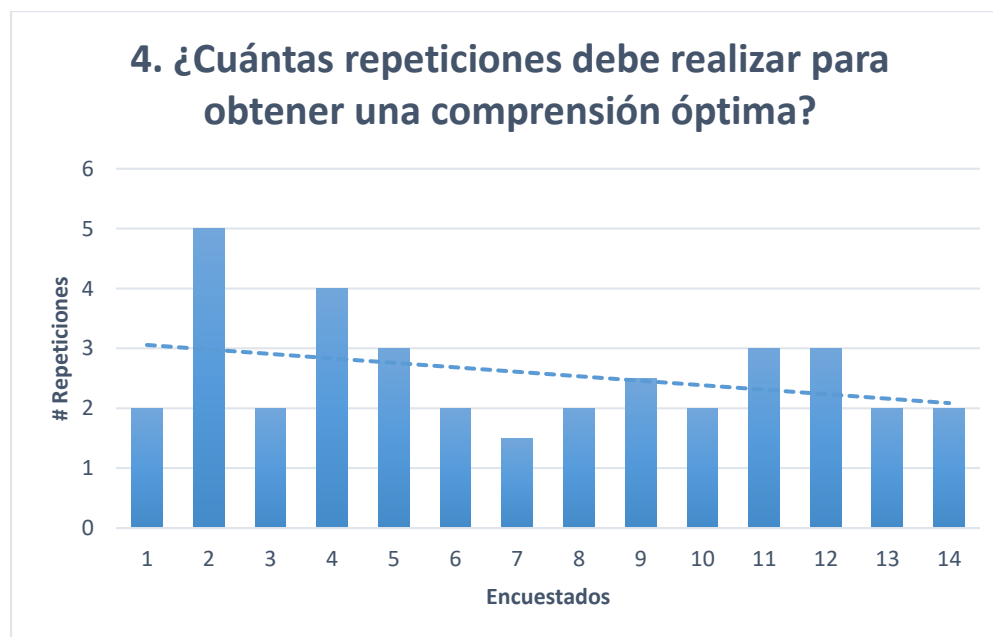


Figura 31. Resultado de la pregunta 4 de la encuesta

A pesar de haber contabilizado el número de repeticiones al inicio de la encuesta, se procedió a consultar en la pregunta cuatro cuantas repeticiones los encuestados consideran que son óptimas para la poder entender y transcribir las expresiones matemáticas, con lo que se obtuvo un ajuste de los resultados y obtener el promedio de los mismos que el número de repeticiones adecuadas para poder comprender y anotar el ejercicio esta entre 2 y 3 repeticiones como se muestra en la línea entrecortada de la figura 31. Aunque varios estudiantes mencionaron que depende bastante de la complejidad matemática del ejercicio y su extensión, con lo cual opinaron que si la expresión contiene más de quince elementos se debería repetir hasta 4 veces y cuando la expresión es menor o igual a quince elementos se repetiría hasta 2 veces. En la figura 31 se aprecia el número de

repeticiones que cada participante menciona y la recta de la linealización de los resultados obtenidos, que como se mencionó se encuentra entre 3 y 2 repeticiones. Se puede notar que en los ejemplos presentados 2 y 4 que fueron con audio tridimensional se tienen más número de repeticiones, esto se debió a que estaban acostumbrándose a este nuevo tipo de audio, pero como se observa en el resto de ejemplos las repeticiones ya se encuentran parejas. Con lo que se concluye que es cuestión de acostumbrarse al movimiento del audio y a la diferenciación de los modificadores de voz.

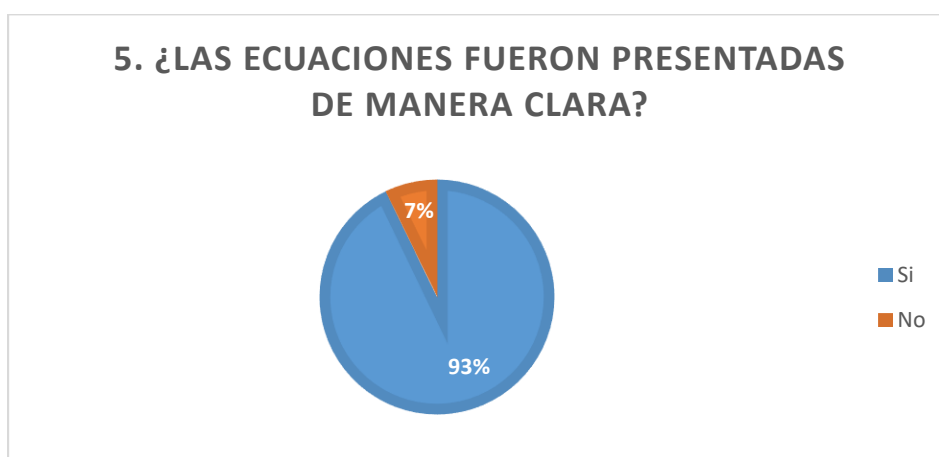


Figura 32. Resultado de la pregunta 5 de la encuesta

En la pregunta cinco se realizó para obtener información si las expresiones matemáticas fueron presentadas de una manera clara, eso quiere decir sino existía ninguna dificultad en la comprensión de las partes de las ecuaciones, signos, paréntesis, números, variables, fracciones, etc. Con lo que se obtuvo como se puede apreciar en la figura 32, que el 93% de estudiantes opinaron que las expresiones matemáticas fueron presentadas de una manera clara y fácil de entenderlas a pesar de su complejidad. En cambio, el 7% de los encuestados dijo que se le generó una dificultad al entender las expresiones matemáticas por un ruido el cual es casi imperceptible que se produce al filtrar el audio para crear el sonido tridimensional con lo cual no pudo entender algunos signos,

este problema se podría resolver mejorando la calidad del audio tridimensional con varios filtros de sonido que eliminen ciertos ruidos que se podrá implementar en un trabajo futuro. Adicionalmente se pudo determinar que existía cierta complicación en entender algunas variables, por ejemplo se tendía a confundir entre la variable “t” y “d”.

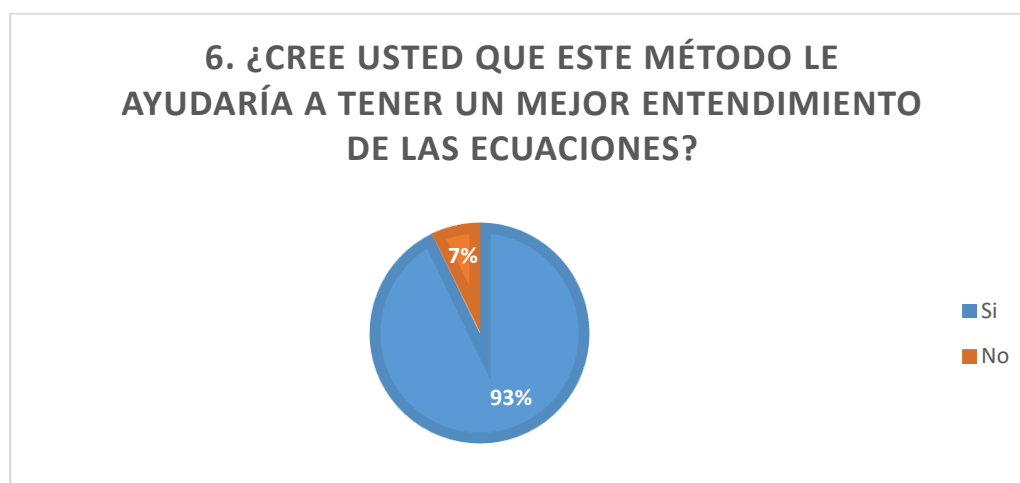


Figura 33. Resultado de la pregunta 6 de la encuesta

La pregunta seis fue formulada después de haber percibido la experiencia de la mezcla de audio tridimensional con expresiones matemáticas, para obtener información de los estudiantes si creen que ayudaría para mejorar el entendimiento de fórmulas matemáticas, al poder repetir las veces que sean necesarias las ecuaciones además de incluir los modificadores de voz para facilitar el tipo de elemento de la expresión matemática y darles una percepción espacial en cada ejemplo presentado. Como se puede observar en la figura 33, el 93% de estudiantes respondieron que si les ayudaría a mejorar en sus estudios de matemáticas, en cambio el 7% de los estudiantes mencionó que no usarían este método ya que no posee pausas lo que dificulta su comprensión, con lo cual se lo puede realizar esta modificación en un trabajo futuro, estableciendo una tecla la cual pueda pausar o reproducir el audio tridimensional cuando esta se presione. Con respecto a los resultados

se puede determinar que el método de aprendizaje con la unión de audio tridimensional y expresiones matemáticas, es útil para mejorar el aprendizaje de estudiantes con discapacidad visual.

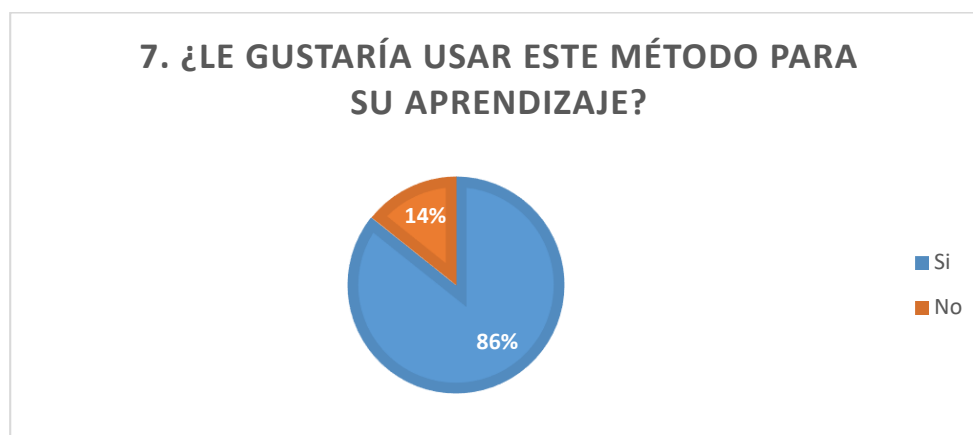


Figura 34. Resultado de la pregunta 7 de la encuesta

En la pregunta siete se obtuvo información si los estudiantes estarían dispuestos a utilizar este método para aprender matemáticas con audio tridimensional y la aplicación realizada, con lo cual como se observa en la figura 34, el 86% menciono que si les interesaría usar este método ya que les ayudaría a mejorar en esta materia y les parece útil y que uso de varias voces les ayuda a diferenciar los elementos constitutivos de una ecuación. En cambio, el 14% menciono que no les gustaría usar este método dado que les gusta el aprendizaje tradicional, además que el uso de varias voces dentro del audio tridimensional molesta y distrae.

Para la pregunta ocho es una consulta abierta con el motivo de mejorar el programa pidiendo la opinión de cada participante para que la aplicación sea utilizable orientándose a las necesidades de este grupo vulnerable de la sociedad, con lo cual se obtuvieron varias respuestas que se presentaran a continuación:

- Que se pueda modificar la velocidad de reproducción
- Se presente de manera más pausada el sistema de ecuaciones

- Que resuelva los problemas en audio tridimensional igual que el profesor
- Que se utilice una sola voz y no se agreguen modificadores de sonido
- Mejorar el programa para leer, escribir, que no sea orientado solo a la parte matemática, sino que sea multilinguaje

Estas fueron las recomendaciones más importantes presentadas por los estudiantes, llegando a la conclusión que se puede mejorar el programa modificando la velocidad de reproducción del audio con una opción para que puedan elegir si aumentar o disminuir según su necesidad de entendimiento lo cual puede realizarse en un trabajo futuro con una aplicación más completa.

Además se realizó una entrevista con el licenciado en matemáticas Wladimir Ganchala con discapacidad visual y un porcentaje de discapacidad auditiva, el profesor se dedica a ser asesor pedagógico particular de estudiantes no videntes enseñándoles la forma correcta de escribir en braille las expresiones matemáticas, ya que como mencionaba es un alfabeto diferente en el cual se pueden usar paréntesis auxiliares y diferentes herramientas para poder identificar el inicio o fin de alguna parte interna de una ecuación. El objetivo de la realización de esta entrevista fue para que un experto en matemáticas con discapacidad visual pruebe el programa y opine si el uso de audio tridimensional es utilizable para facilitar el entendimiento y mejorar el aprendizaje de estudiantes, además que podría mencionar mejoras las cuales se pueden implementar en trabajos futuros. Al utilizar el programa comento que le parece interesante ya que nunca había tenido una experiencia con audio tridimensional. Menciono varios puntos favorables de la aplicación:

- Las expresiones matemáticas fueron presentadas de manera clara, en la parte de fracciones se diferencia entre numerador y denominador, ayudando también finalización de la misma.

- La característica del programa de poder repetir varias veces la expresión le ayuda a los estudiantes a transcribir de una mejor manera sin errores, además que la primera vez que escucha la expresión matemática la identifica y la imagina, en la segunda repetición ya la transcribe porque tiene una idea de donde se encuentra cada elemento.
- Los modificadores de voz ayudan a identificar los elementos de la expresión matemática cuando son potencias, radicales o subíndices.

Las recomendaciones que dio para el programa fueron las siguientes:

- Programar una tecla la cual permita generar una pausa mientras se reproducen las expresiones matemáticas para no tener que repetirla.
- Crear un manual de usuario con el narrador el cual vaya mencionando el funcionamiento del programa con sus modificadores de voz como ejemplo.
- Cuando las expresiones sean solo de una variable eliminar la operación “por” ya que hace más extensa la copia de la expresión matemática. Por ejemplo al tener una expresión matemática como $5 * x + 3 * y = 10$, se pueden eliminar los operadores de multiplicación para disminuir el número de símbolos de la expresión matemática la cual quedaría como $5x + 3y = 10$, estando implícito que existe una multiplicación, en cambio cuando se tiene una expresión como $7 * x * y + 4 * x * z = y * z$, se debe mantener los símbolos de multiplicación para diferenciar que son variables separadas.

5.3. Resultados de la transcripción

Se procedió a realizar la cuantificación de los elementos correctos e incorrectos transcritos por los estudiantes con el objetivo de obtener un porcentaje de aciertos de la transcripción de las expresiones matemáticas escuchadas, con lo cual se puede obtener un resultado del entendimiento

cuando se presenta el audio de manera monofónica versus tridimensional. La calificación de las expresiones matemáticas transcritas por los estudiantes con discapacidad visual se la realizó cuantificando el total de elementos de las mismas, el cual significa el 100 por ciento de aciertos. Por lo cual se procedió a calificar elemento por elemento escrito por cada estudiante, comparando la posición y si lo transcrito es correcto, con eso se obtuvo el porcentaje de errores y aciertos por cada expresión matemática. Al final se obtuvo un promedio de las expresiones escuchadas en audio monofónico y en audio tridimensional, lo cual se presenta en la tabla 3, adicionalmente la cuantificación de resultados por cada estudiante se encuentra en el Anexo J.

Tabla 3

Tabla de aciertos en la transcripción de ejemplos con audio monofónico y tridimensional

Encuestados	Monofónico	Tridimensional
1	47,05%	48,35%
2	78,47%	89,12%
3	94,94%	95,63%
4	91,98%	89,95%
5	90,36%	78,20%
6	93,05%	87,98%
7	92,37%	72,61%
8	100,00%	100,00%
9	86,43%	79,20%
10	59,82%	69,21%
11	84,71%	82,88%
12	100,00%	100,00%
13	98,95%	96,54%
14	86,39%	100,00%
Promedio	86,04%	84,98%

Como se puede observar en la tabla 3, la mayoría de los porcentajes tienen una similitud en la transcripción de las expresiones matemáticas por los estudiantes con discapacidad visual, se podría determinar que dos estudiantes encuestados logro obtener el 100% de transcripción correcta con

audio monofónico y tridimensional. De los casos restantes existen cinco jóvenes los cuales realizaron su escritura de mejor manera al escuchar en audio tridimensional, aunque el resto de estudiantes realizó de mayor número de aciertos con el audio monofónico. Este resultado nos da a pensar que el uso del método de enseñanza con audio tridimensional si es factible aplicar, se puede mejorar para tener mayor confiabilidad en los resultados con los comentarios obtenidos en las encuestas. Se puede recalcar que dependiendo de la actitud y ganas de aprendizaje de cada estudiante se reflejan sus resultados positivos al transcribir las expresiones matemáticas, mientras tanto existen otros estudiantes, aunque se le de diferentes métodos de aprendizaje y herramientas para desarrollo de su aprendizaje los resultados esperados no son los adecuados.

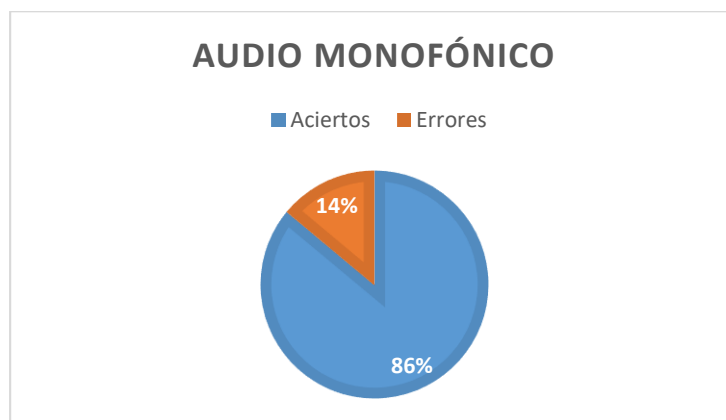


Figura 35. Promedio de aciertos y errores de audio monofónico

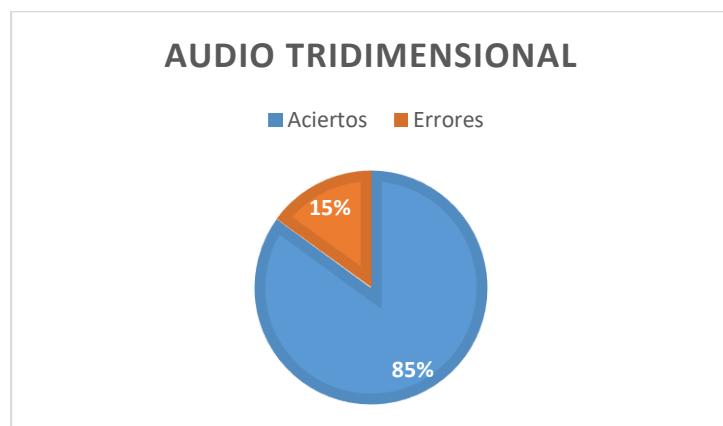


Figura 36. Promedio de aciertos y errores de audio tridimensional

En la figura 35 y figura 36 se puede apreciar el porcentaje de aciertos del promedio de resultados de todos los participantes de la encuesta, se puede determinar que existe un 1% de diferencia entre aciertos de audio monofónico y audio tridimensional, esto puede significar que con un mayor entrenamiento auditivo con sonidos tridimensionales, se puede llegar a mejorar la comprensión y transcripción de expresiones matemáticas. Esto se determina ya que es la primera vez que utilizan este método de aprendizaje que mezcla audio tridimensional y expresiones matemáticas, en cambio el uso de audio monofónico está presente en su vida diaria con el lector de pantalla.

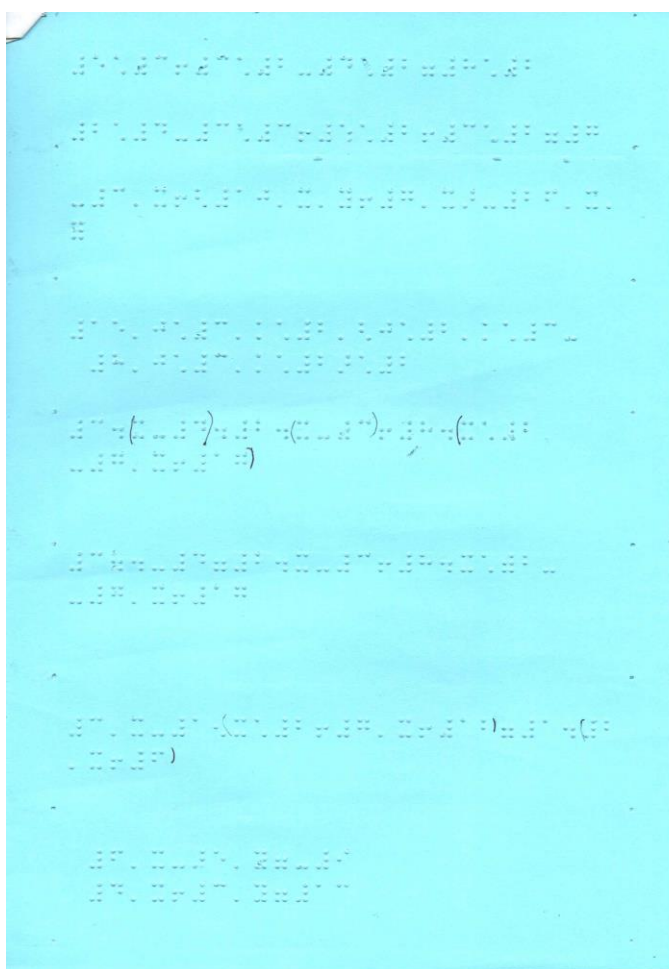


Figura 37. Transcripción de expresiones matemáticas

En la figura 37 se puede observar un ejemplo de lo transcrito por el profesor, se puede determinar por lo conversado, el uso de gran cantidad de auxiliares matemáticos para separar diferentes tipos de expresiones como paréntesis que determinaban el inicio y final de un numerador, denominador, radicales o potenciación.

Handwritten mathematical expressions on a piece of paper:

$$1) \frac{3}{x-4} = \frac{2}{x-3} + \frac{8}{x^2 - 7x + 17}$$

$$2) \frac{3 \cdot x - 1}{x^2 + 7x + 12} = \frac{1}{2x + 6}$$

$$-(4x + 8y) + (x - y)$$

$$(r^2 + 3r + 2) - (2r - 1)$$

$$y = \frac{m \cdot n}{3} + \frac{m^2}{2}$$

$$a = 4x^2 + 31 + \frac{3x}{8} - 6x^3$$

$$\textcircled{1} 6x - 5y = -9$$

$$\textcircled{2} 4x + 3y = 13$$

$$\textcircled{1} 7x - 15y = 1$$

$$\textcircled{2} -x - 6y = 47$$

$$\sqrt{1} + \sqrt{1} + \sqrt{1} + \sqrt{1} + x$$

$$x = \frac{-z \pm \sqrt{z^2 - 2 \cdot 4 \cdot Q \cdot P}}{2 \cdot Q}$$

Figura 38. Transcripción de expresiones matemáticas

En la figura 38 se puede observar los resultados de un encuestado el cual tenía un porcentaje de discapacidad visual del 75% según el CONADIS, con lo cual esta persona tenía baja visión, no alcanzaba a divisar el pizarrón, solo podía ver de cerca con lo que se puede determinar que escribe números grandes para poder visualizarlos.



Figura 39. Transcripción de expresiones matemáticas

En la figura 39 se puede observar los resultados de transcripción de un estudiante encuestado el cual tuvo bajos resultados en el acierto de la escritura de expresiones matemáticas, al conversar con un tutor académico del Colegio “Leonardo Ponce Pozo”, comento que tenía bajo desempeño académico ya que en su etapa escolar sus profesores le hacían pasar de grado con la nota mínima e hicieron que sea un estudiante conformista. Como estos existen muchos casos similares que dependieron la obtención de resultados en esta investigación.

Se debe mencionar que las mejoras sugeridas como la calidad del audio no se implementaron ya que la finalidad de esta investigación era detectar si se puede utilizar el audio tridimensional para presentar expresiones matemáticas generando una percepción espacial de cada elemento, pero con lo obtenido en la experiencia de conversar con este grupo vulnerable de la sociedad, se puede señalar que si les puede ayudar el trabajar con diversos tipos de audio además de generar inclusión con nuevas tecnologías para mejorar y facilitar sus vidas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se diseñó un programa el cual permite reproducir expresiones matemáticas con audio tridimensional para facilitar el entendimiento de las mismas dirigido a estudiantes en edad de escolaridad con discapacidad visual

Es necesario que los estudiantes no videntes aprendan el lenguaje braille matemático o viceversa, que estén familiarizados con la utilización del computador como ayuda para la escritura de expresiones matemáticas.

La mayoría de estudiantes con discapacidad a los que se les realizó la prueba no se encontraban cursando el nivel de educación que deberían, ya que eran mayores y no poseían los conocimientos adecuados para la transcripción de expresiones matemáticas con lo cual se fue variando la dificultad de las expresiones matemáticas según lo que conocían de la materia.

La utilización del método de aprendizaje mediante la utilización de audio tridimensional puede ser utilizado como una nueva técnica de aprendizaje para personas con discapacidad visual, ya que se obtuvieron buenos resultados después de la realización de las pruebas.

El cambio de voz entre hombre y mujer más los modificadores utilizados generaron una mejor percepción de las ecuaciones que poseían súper índices y subíndices.

La aplicación desarrollada puede ser utilizada para personas con o sin discapacidad ya que al ser algo novedoso, llama la atención de los estudiantes con lo cual podrían entender mejor como

se encuentra una expresión matemática, ya que se presenta una percepción espacial de los elementos.

Los estudiantes con discapacidad tienden pedir que se repita las expresiones matemáticas varias veces, por lo cual la aplicación se desarrolló para que puedan reproducir las veces que deseen hasta poder entender.

Se realizaron pruebas con voces de *text-to-speech* de Microsoft con acento español y mexicano, dando como mejor opción la utilización del acento mexicano por ser similar al acento ecuatoriano.

Al realizar la prueba con el profesor se determinó que los modificadores de voz ayudan a utilizar símbolos auxiliares en el lenguaje braille para poder transcribir correctamente las expresiones matemáticas.

6.2. Recomendaciones y Trabajos Futuros

Para que puedan usar la aplicación y reproducirla se debe aumentar una pausa al inicio ya que si se reproduce de inmediato no logran copiar las expresiones matemáticas, por lo que deben repetir, esto se da porque necesitan ambas manos para la escritura en lenguaje braille.

Al utilizar solapamiento temporal de señales de audio para eliminar los clics generados por el corte y unión de audios para la creación de audio tridimensional.

Se recomienda la utilización de audífonos tipo diadema que aíslen el audio exterior para tener una mejor percepción del audio tridimensional.

Se recomienda la utilización de audífonos tipo diadema que aíslen el audio exterior para tener una mejor percepción del audio tridimensional.

En lo referente a trabajos futuros se puede mencionar los siguientes:

- Mejorar el audio tridimensional con el uso de filtros pasa banda que eliminen picos generados al unir varias tramas de audio.
- Crear una base de datos la cual tenga las expresiones matemáticas de los textos guía dados por el Ministerio de Educación, para implementar con el programa y permitir que los estudiantes con discapacidad visual elijan el ejemplo según mencione el profesor.
- Implementar un manual de usuario audible el cual vaya mencionando las modificaciones de voz con audio tridimensional y una explicación del funcionamiento del programa.
- Implementar una tecla la cual permita pausar la reproducción del audio, así mismo la tecla permita reproducir el audio tridimensional donde fue pausado.

Bibliografía

- Andreopoulul, A., Begault, D., & Katz, B. (2015). *Inter-Laboratory Round Robin HRTF Measurement Comparison*. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing.
- Asamblea Constituyente. (Octubre de 2008). Constitución de la República del Ecuador. *Registro Oficial No.449*.
- Baumgartner, R., Brinkmann, F., & Majdak, P. (11 de 2017). *GitHub*. Obtenido de https://github.com/sofacoustics/API_MO
- Bourne, R., Flaxman, S., Braithwaite, T., Cicinelli, M., Das, A., Jonas, J., & Vision Loss Expert Group. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob Health*.
- Briger, S. (2013). Developing a Navigational HRTF-Based Audio Game for People with Visual Impairments.
- Curram, M., & Teh, J. (Abril de 2018). *NV Access*. Obtenido de <https://www.nvaccess.org/>
- Deng, S. (2008). *MathWorks*. Obtenido de <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18091-text-to-speech>
- Día, E. (7 de Marzo de 2012). *El Día*. Obtenido de <https://www.eldia.com/nota/2012-3-7-cada-vez-menos-ciegos-usan-braille>

- Discapacidades, C. N. (12 de Febrero de 2018). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>
- Fateman, R. (2013). How can we speak math?
- Gerino, A., Albastro, N., Bernareggi, C., Ahmetovic, D., & Mascetti S. (2014). MathMelodies: Inclusive Design of a Didactic Game to Practice Mathematics.
- InfoEscuelas. (Abril de 2018). *InfoEscuelas*. Obtenido de <https://www.infoescuelas.com/ecuador/pichincha/leonardo-ponce-pozo-en-quito/>
- Magro, J. (2016). *Desarrollo de herramientas de procesado y visualizacion para audio 3D con auriculares*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.
- Majdak, P., Goupell, M., & Laback, B. (2010). *3-D localization of virtual sound sources: effects of visual environment, pointing method, and training*. *Atten Percept Psychophys*.
- Majdak, P., Noisternig, M., Mihocic, M., Ziegelwanger, H., & Carpentier, T. (13 de Febrero de 2018). *SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics)*. Obtenido de <https://www.sofaconventions.org>
- Marin, A. (Septiembre de 2012). *Trabajos asignatura informatica*. Obtenido de <http://bloginbach.blogspot.com/2012/09/braille.html>
- MathWorks, I. (Marzo de 2018). *MathWorks*. Obtenido de https://la.mathworks.com/campaigns/products/trials.html?s_eid=ppc_51960033056&q=m
atlab

MediaWiki. (Marzo de 2018). *SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics)*. Obtenido de [https://www.sofaconventions.org/mediawiki/index.php/SOFA_\(Spatially_Oriented_Format_for_Acoustics\)](https://www.sofaconventions.org/mediawiki/index.php/SOFA_(Spatially_Oriented_Format_for_Acoustics))

Mittlebach, F., Braams, J., Rowley, C., & Rahtz, S. (21 de Marzo de 2018). *The Latex Project*. Obtenido de <https://www.latex-project.org/>

Navarro, J. (Mayo de 2011). *Acústica y sonido*. Obtenido de <http://acusticaysonido.com/?p=315>

Noboa, E., & Noboa, D. (2014). *Diseño e implementación de un sistema electrónico con interface a PC para automatizar una máquina de escribir de braille*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Python, F. S. (Marzo de 2018). *Python*. Obtenido de <https://www.python.org/>

Salcedo, J. (2016). *Diseño e implementación de un programa informático orientado a personas con discapacidad visual para el aprendizaje de álgebra elemental*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Sánchez, J. (2008). User-centered technologies for blind children.

Sánchez, J., & Sáenz, M. (2006). 3D sound interactive environments for blind children problem solving skills.

Schweikhart, W., Bernareggi, C., Jessel, N., Encelle, B., & Gut, M. (2006). LAMBDA: A European System to Access Mathematics with Braille and Audio Synthesis.

Solidario, P. (Abril de 2018). *Portal Solidario*. Obtenido de

[https://www.portalsolidario.net/docu/tercero.php?rowid=3436&nombd=discapitados_c
entros&menu=&provincia=Pichincha&pais=Ecuador](https://www.portalsolidario.net/docu/tercero.php?rowid=3436&nombd=discapitados_c
entros&menu=&provincia=Pichincha&pais=Ecuador)

Speech, T. t. (21 de Marzo de 2018). *Text to Speech*. Obtenido de <http://www.textospeech.info/>

Thompson, D., Algazi, V., Duda, R., & Avendano, C. (2001). *The CIPIC HRTF database*. IEEE
Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics.

Thur, L. (2016). *Una propuesta de accesibilidad en expresiones matemáticas para la comunidad
de ciegos y disminuidos visuales*. Cordoba: Universidad Nacional de Cordoba.

UCDAVIS. (6 de Abril de 2018). *UCDAVIS*. Obtenido de <http://interface.cipic.ucdavis.edu/data/>

Voluntarios. (Abril de 2018). *Audacity*. Obtenido de <https://www.audacityteam.org/>

W3C. (22 de Marzo de 2018). *Mathematical Markup Language*. Obtenido de
<https://www.w3.org/TR/WD-math/>