



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desarrollo de una aplicación para describir los caracteres matemáticos de las ecuaciones mediante audio 3D utilizando earcons y spearcons dirigida a personas con deficiencia visual

Cachimuel Iza, Juan Carlos

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

Ing. Larco Bravo, Julio César. MSC.

23 de Julio del 2021



Document Information

Analyzed document	Tesis_completa_SCIB_Cachimuel_Juan.pdf (D110223653)
Submitted	7/7/2021 5:32:00 AM
Submitted by	
Submitter email	jclarco@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	jclarco.espe@analysis.orkund.com



Sources included in the report

W	URL: https://docplayer.es/122957038-Universidad-tecnica-de-ambato.html Fetched: 1/27/2021 11:27:17 PM		1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis_Completa_Hernan_Dominguez.pdf Document Tesis_Completa_Hernan_Dominguez.pdf (D40688829) Submitted by: jclarco@espe.edu.ec Receiver: jclarco.espe@analysis.orkund.com		5
W	URL: http://www.wiris.com/es/book/export/html/628 Fetched: 11/22/2020 6:00:37 AM		2
W	URL: https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Garcia-Penalvo/publication/268430771_Edicion_y_Visualizacion_del_Lenguaje_Matematico_en_la_Aplicacion_Web_SHARPO/links/54d0ab3d0cf29ca811027ec9/Edicion-y-Visualizacion-del-Lenguaje-Matematico-en-la-Aplicacion-Web-SHARPO.pdf Fetched: 1/22/2020 5:11:52 PM		1
W	URL: https://es.slideshare.net/jucarmarsa/lenguaje-de-marcado-mathml Fetched: 4/25/2020 5:19:27 PM		1
W	URL: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/47496/2/memoria.pdf Fetched: 11/30/2020 10:48:14 PM		2



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“Desarrollo de una aplicación para describir los caracteres matemáticos de las ecuaciones mediante audio 3D utilizando earcons y spearcons dirigida a personas con deficiencia visual”**, fue realizado por el señor **Cachimuel Iza, Juan Carlos**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 5 de julio del 2021

Firma:



Ing. Larco Bravo, Julio César MSc.

C.C: 1710638808



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Cachimuel Iza, Juan Carlos** con cédula de ciudadanía n°1720985769, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Desarrollo de una aplicación para describir los caracteres matemáticos de las ecuaciones mediante audio 3D utilizando earcons y spearcons dirigida a personas con deficiencia visual"**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 5 de julio del 2021

Cachimuel Iza, Juan Carlos

C.C: 1720985769



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Cachimuel Iza, Juan Carlos**, con cédula de ciudadanía n°1720985769, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Desarrollo de una aplicación para describir los caracteres matemáticos de las ecuaciones mediante audio 3D utilizando earcons y spearcons dirigida a personas con deficiencia visual"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 5 de julio del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "C.I.", is written over a horizontal line.

Cachimuel Iza, Juan Carlos

C.C: 1720985769

Dedicatoria

A Dios, por iluminar mi vida en cada paso propuesto, y brindarme salud para conseguir cada uno de los objetivos planteados.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres José y Lucila, por su apoyo incondicional, esencialmente a mi madre pues sin ella no lo habría logrado, por apoyarme en cada etapa de mi vida sin dejar que me dé por vencido, por más compleja que sea la adversidad con su confianza y amor incondicional. Su bendición a diario a lo largo de mi vida me cuida y me guía por el camino del bien. Por estos y más motivos le entrego mi trabajo en ofrenda a su paciencia y amor madre mía.

A mis hermanos, Freddy, Danilo y Darwin por estar siempre presentes, brindándome su apoyo incondicional, a lo largo de esta etapa académica. Por estar conmigo en todo momento gracias. Con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una o de otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis sobrinos por llenarme de alegría día tras día.

A Jazmín mi compañera de vida durante toda esta carrera universitaria, la persona cuyo apoyo ha sido incondicional, por impulsarme y presionarme a lograr mis metas desde el primer día que Dios me dio la dicha de conocerla en nivelación académica. Gracias por tu felicidad en cada triunfo conseguido.

Estas palabras son para ustedes, sin embargo, no alcanzan a reflejar la magnitud del cariño, amor y respeto que tengo para cada uno.

Juan Carlos Cachimuel Iza

Agradecimiento

Me van a faltar páginas para expresar las gracias a las personas que se han involucrado en la realización de este proyecto de investigación.

Sin embargo, una mención especial a mis padres por ser el pilar fundamental y guiarme durante todo el transcurso de mi vida, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Con mucho cariño se lo dedico a mis hermanos, Freddy, Danilo y Darwin, y a mis sobrinos ya que, con su ejemplo y amor profundo, me encaminaron a seguir con la propuesta investigativa quienes siempre me dieron esperanza y tuvieron fe en mí.

En el camino encuentras a personas que ilumina tu vida, que, con su amor incondicional, su apoyo y esfuerzo te ayudan a ser una mejor persona día a día, a través de sus consejos, de su paciencia y esfuerzo, gracias a mi vida Jazmín.

Agradezco a mi director de tesis, el docente Julio Larco, que gracias a sus correcciones y consejos tanto académicos como de vida hoy puedo culminar este trabajo, a todos los docentes que fueron partícipes de mi formación académica y me han visto crecer como estudiante y como persona, gracias a sus conocimientos y enseñanzas transmitidas hoy puedo sentirme verdaderamente dichoso. Gracias a todas las personas no videntes partícipes con la elaboración de este trabajo de investigación, mi agradecimiento a ellos ya que sin su apoyo esto no sería posible.

¡Que nadie se quede afuera, se los dedico a todos!

Juan Carlos Cachimuel Iza

Gracias a mis padres
especialmente a mi madre
Lucila a mis hermanas y
a mi novia jazmin a las
personas que colaboraron
en este proyecto especialmente
a Antony

Gracias a Dios

Índice de contenidos

Urkund	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	9
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras	13
Resumen	14
Abstract.....	15
Capítulo I	16
Generalidades.....	16
Introducción	16
Justificación e Importancia	17
Estado del Arte	18
Alcance	20
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Capítulo II	22
Marco Teórico.....	22
Discapacidad visual	22
Tipos de discapacidad visual	22

	10
Discapacidad visual en el Ecuador	23
Herramientas de inclusión para las personas con discapacidad visual	24
Sistema Braille	24
Síntesis de voz	26
Sonido	26
Digitalización del sonido	27
Tipos de sonido	28
Producción de Earcons y Spearcons	29
Lenguaje Matemático	30
LaTeX	30
MathML	30
Capítulo III	34
Diseño del software	34
Inclusión de personas no videntes en las instituciones de educación pública en el Ecuador	34
Diagrama General del sistema	35
Ingreso y Captura de expresiones matemáticas	40
Conversión de imágenes a lenguaje matemático en LaTeX	41
Conversión de LaTeX a lenguaje PMathML	42
.....	42
Conversión de PMathML a CMathML	43
Conversión de CMathML a Text-to-speech	44
Generación de Earcons y Spearcons	44
Generación de audio monofásico	45
Reproducción de audio monofásico con Earcons y Spearcons	46
Reproducción de Audio 3D con Earcons y Spearcons	46
Capítulo IV.....	48
Metodología experimental.....	48

Grupo de pruebas	48
Planteamiento para la ejecución de pruebas prácticas con personas no videntes.	49
Capítulo V.....	54
Análisis de resultados.....	54
Preguntas de la encuesta	54
Resultados de los ejemplos realizados.	64
Capítulo VI.....	66
Conclusiones y Recomendaciones	66
Conclusiones	66
Recomendaciones y Trabajos Futuros	67
Bibliografía	68
Anexos	71

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de los módulos, sistemas y librerías de Python 3.0 utilizadas en el desarrollo del software matemático.....	48
Tabla 2 Tabla de resultados de las repeticiones necesarias de cada estudiante en los ejemplos presentados.	55
Tabla 3 Tabla de aciertos de la transcripción de los ejemplos de las ecuaciones matemáticas en audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons.....	65

Índice de figuras

Figura 1 Logo de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador.	24
Figura 2 Cartilla Braille convencional adaptada al idioma español.	25
Figura 3 Texto escrito en lenguaje Braille por los participantes del proyecto de investigación... ..	25
Figura 4 Proceso de muestro y digitalización de Audio.	28
Figura 5 Ecuación en código LaTeX.	30
Figura 6 Ecuación en código PMathML.	31
Figura 7 Ecuación en código CMathML.	33
Figura 8 Diagrama General de la aplicación.	36
Figura 9 Diagrama de flujo general del Software Matemático.	38
Figura 10 Interfaz gráfica del software Matemático diseñado.	40
Figura 11 Diagrama del bloque de captura de la ecuación.	40
Figura 12 Diagrama del bloque de transformación de imagen a código LaTeX.	41
Figura 13 Diagrama del bloque de la transformación de LaTeX a PMathML.	42
Figura 14 Diagrama del bloque de la transformación de PMathML a CMathML.	43
Figura 15 Diagrama del bloque de la transformación de CMathML. a TTS.	44
Figura 16 Módulo de generación de Earcons y Spearcons	44
Figura 17 Generación de audio monofásico.	45
Figura 18 Diagrama de reproducción de audio monofásico con Earcons y Spearcons.	46
Figura 19 Diagrama de la reproducción del Audio 3D con Earcons y Spearcons.	46
Figura 20 Resultados de la primera pregunta de la encuesta.	56
Figura 21 Resultados de la segunda pregunta de la encuesta.	57
Figura 22 Resultados de la tercera pregunta de la encuesta.	58
Figura 23 Resultados de la cuarta pregunta de la encuesta.	59
Figura 24 Resultados de la quinta pregunta de la encuesta.	60
Figura 25 Resultados de la sexta pregunta de la encuesta.	61
Figura 26 Resultados de la octava pregunta de la encuesta.	62
Figura 27 Resultados de la novena pregunta de la encuesta.	63
Figura 28 Resultados de la décima pregunta de la encuesta.	64

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad el desarrollar un software matemático utilizando audio 3D, para brindar una mayor comprensión en el aprendizaje de ecuaciones entre los tutores videntes y estudiantes no videntes, el mencionado software se encuentra enfocado a personas que tengan pérdida parcial y total de su vista, debido a que en la actualidad las personas que presentan una discapacidad visual según cifras del instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, Compendio Estadístico , 2013), en Ecuador existen alrededor de 274 000 personas no videntes la mismas que cuentan con un número reducido de oportunidades de crecimiento académico y social el enfoque de este proyecto busca reintegrar a este grupo de personas vulnerables a la educación en centros de inclusión social e instituciones académicas tanto públicas como privadas. La aplicación será desarrollada e implementada utilizando el software Python versión 3 debido a la portabilidad que este nos ofrece, el proyecto se encontrará enfocado en tres aspectos importantes los cuales son, exportación de las ecuaciones matemáticas que se encuentren en formato .pdf, transformación de las ecuaciones matemáticas encontradas a lenguaje matemático MathML el mismo que será transformado a texto, conversión de los caracteres matemáticos utilizando text-to-speech a formato .WAV con lo cual se pretende otorgar una óptica de espacialidad a los caracteres de las ecuaciones. Para iniciar el proceso las ecuaciones serán tomadas del archivo PDF ingresado, otorgándole a cada una su respectiva posición tanto en el eje de las ordenadas como en el eje de las abscisas, al tener identificadas todas las ecuaciones se procederá a exportarlas. Al contar con todas las ecuaciones matemáticas del archivo se procederá a identificar los componentes de las mismas teniendo en consideración las reglas matemáticas existentes, esto será aplicado para su transcripción a formato MathML. Utilizando la ecuación en formato MathML se procederá a emplear el text-to-speech para generar un archivo .WAV que contará con las particularidades de cada ecuación extraída del texto, las mismas que serán representadas mediante ángulos y frecuencias a cada componente.

Palabras clave:

- **AUDIO TRIDIMENSIONAL**
- **DISCAPACIDAD VISUAL**
- **EARCONS Y SPEARCONS**

Abstract

The purpose of this research project is to develop mathematical software using 3D audio, to provide greater understanding in the learning of equations among sighted tutors and blind students, the mentioned software is focused on people who have partial and total loss of their sight, due to the fact that currently people with visual impairment according to figures from the National Institute of Statistics and Censuses (INEC, Statistical Compendium, 2013), in Ecuador there are around 274,000 blind people who have A reduced number of opportunities for academic and social growth The focus of this project seeks to reintegrate this group of people vulnerable to education in centers of social inclusion and academic institutions, both public and private. The application will be developed and implemented using Python version 3 software due to the portability that it offers us, the project will be focused on three important aspects which are, export of the mathematical equations that are in .pdf format, transformation of the Mathematical equations found to the mathematical language MathML, which will be transformed into text, conversion of the mathematical characters using text to speech to .WAV format with which it is intended to give an optics of spatiality to the characters of the equations. To start the process of the equations, they will be taken from the entered PDF file, granting each one its respective position both on the ordinate axis and on the abscissa axis. Once all the equations have been identified, they will be exported. By having all the mathematical equations in the file, the components of the same will be identified taking into account the existing mathematical rules, this will be applied for their transcription to MathML format. Using the equation in MathML format, the text to speech will be used to generate a .WAV file that will have the particularities of each equation extracted from the text, which will be represented by angles and frequencies for each component.

Keywords:

- **THREE-DIMENSIONAL AUDIO**
- **VISUAL DISABILITY**
- **EARCONS AND SPEARCONS**

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Según la Organización Mundial de la salud a nivel mundial se tiene un estimado que aproximadamente 1300 millones de personas tienen algún tipo de deficiencia visual siendo los mayores causantes de estas cifras los errores de refracción no corregidos y las cataratas. En Ecuador gran parte de los niños y jóvenes que presentan una discapacidad visual asisten a un centro de educación especial motivo por el cual quedan relegados del sistema educativo convencional catalogándolos de personas “diferentes”, con esto minimizando sus posibilidades de integración para acceder a una educación de calidad (OMS, 2019).

El uso de la tiflotecnología permite la adaptación de técnicas y procedimientos para brindar apoyo a las personas no videntes o que muestren características de una baja visión, la mencionada técnica tiene como principal objetivo mejorar la calidad de vida e integración a la sociedad de las personas con discapacidad visual. Las personas con discapacidad visual buscan oportunidades para reintegrarse a la sociedad, por lo cual buscan tener educación de calidad en centros especializados de enseñanza que aplique métodos acorde a sus características especiales por lo cual el lenguaje Braille es uno de los más utilizados en este campo, sin embargo, con el transcurso de los años este lenguaje ha decaído en su aceptación disminuyendo el número de usuarios que son capaces de interpretarlo, ya sean personas videntes y no videntes, el mencionado lenguaje se constituye en un arreglo de seis puntos los cuales son ordenados en tres filas y dos columnas los cuales no son presentados en relieve necesariamente, una de las deficiencias de este lenguaje es que al escribir o modificar una expresión matemática cada elemento que compone la ecuación en lenguaje Braille se debe ubicar en una posición diferente dificultando el entendimiento y aprendizaje de nuevas posiciones. Además la complejidad de la lectura de la ecuación es directamente proporcional a la longitud de la misma generando una mayor carga mental para memorizar y entender cada símbolo escrito en Lenguaje Braille.

En este trabajo se pretende utilizar una nueva manera de presentar la bidimensionalidad de las ecuaciones matemáticas, utilizando la síntesis de voz la cual se relaciona de manera directa a la linealización de las expresiones matemáticas en una oración que se pueda pronunciar. Esta técnica presenta costos más económicos en

referencia a dispositivos Braille, siendo una opción viable para personas que no aprendieron a utilizar el lenguaje Braille.

El sonido cuenta con una influencia directa sobre las personas para proveer información verídica y relevante sobre el ambiente que rodea a las mismas, existen varios trabajos que tienen como base el sonido y el posicionamiento que este ofrece sobre los objetos que se encuentran en un espacio especialmente para personas con deficiencia visual por lo cual existen varias herramientas que facilitan la creación de espacios virtuales los cuales permiten obtener la percepción del entorno utilizando la visión del entorno y la generación de posiciones dinámicas a través del audio. Una variación del sonido para transmitir los múltiples puntos del espacio al oyente es el audio 3D el cual es la combinación de varias técnicas especializadas de procesamiento de audio proporcionando a los oyentes sonidos que se encuentren en cualquier punto de los 360 grados que forman el espacio 3D.

Este proyecto se basa en la utilización de Python 3.0 debido a su portabilidad y legibilidad de su código siendo un lenguaje de programación multiparadigma (Python, 2021). Este proyecto, tiene como finalidad crear un software matemático que permita la captura de ecuaciones matemáticas de un archivo en formato PDF, proporcionar al usuario una descripción de las expresiones matemáticas utilizando audio normal y un audio 3D en conjunto con el uso de Earcons y Spearcons para poder transmitir la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos a personas no videntes.

Justificación e Importancia

En la actualidad la inclusión de personas con diferentes tipos de discapacidad tiene un auge significativo en la inclusión social, según la constitución del Ecuador en 2008, se dispuso que las personas con discapacidades son un grupo de atención prioritaria teniendo derecho a acceder a educación y plazas de trabajo dignas, el Plan Nacional del Buen Vivir menciona que este grupo vulnerable de la sociedad tiene derecho a una educación gratuita y de calidad teniendo las mismas oportunidades que el resto de la sociedad para la obtención de un puesto de trabajo. En Ecuador según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), el total de personas que presentan algún tipo de discapacidad es de un aproximado del 35% del total de la población considerando discapacidades de tipo leves y severas, el 22.5% del porcentaje mencionado presenta algún tipo de discapacidad visual (INEC, 2013). Las aplicaciones y plataformas fundamentadas en audio son utilizadas para impulsar la cognición y el aprendizaje en

personas con discapacidad visual. Cada vez en el mundo existe un mayor número de estudios relacionados con interfaces basadas en audio lo cual ha permitido evaluar su impacto en el aprendizaje, una gran cantidad de estos estudios son impulsados con software interactivo. Se ha demostrado según varios estudios que la utilización de sonidos especializados aporta en el desarrollo de habilidades para la navegación en diferentes entornos virtuales al utilizar interfaces con audio 3D permiten a las personas con discapacidad visual localizar un punto específico en un espacio tridimensional, el navegar en entornos visuales (Sanchez & Flores, 2004). Existen trabajos previos realizados en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que utilizan audio 3D para describir ecuaciones matemáticas, el trabajo de titulación del señor Hernán Felipe Domínguez Urrea, en el cual se crea una aplicación enfocada a personas con pérdida parcial y total de la vista, para otorgarles un método de acceso a expresiones matemáticas utilizando audio tridimensional, esta aplicación fue creada en MATLAB por lo cual no presenta portabilidad para todos los potenciales usuarios, en esta tesis se ingresa la ecuación de manera manual utilizando el teclado de la computadora y la ecuación ingresada es transformada en audio tridimensional, las ecuaciones a ingresar son lineales y son simples. En nuestro trabajo se pretende con el uso de audio 3D transmitir al no vidente el carácter bidimensional de una ecuación a través de un audio utilizando Python 3 para brindar una mayor portabilidad de la aplicación, así como facilitar la exportación de archivos los mismos que se encuentre en formato PDF con esto se otorgará una mejor interacción entre un tutor vidente y un estudiante no vidente, para describir las ecuaciones no solo se utilizara expresiones idiomáticas simples, se incluirán otras formas de comunicación, como el uso de Earcons y Spearcons los cuales permitirán obtener un mejor audio descriptivo generando breves señales que se crean comprimiendo el tiempo de una frase. Por ejemplo, utilizando voz de hombre, voz de mujer para identificar operadores y variables, además se utilizarán diferentes frecuencias de audio para numeradores y denominadores a más de utilizar tonos para el inicio y el fin de la ecuación con estas características se pretende mejorar las cualidades presentadas con el audio 3D utilizado y obteniendo una dualidad como señal léxica descriptiva y sonido abstracto.

Estado del Arte

En el mundo se cuentan con varias técnicas y tecnologías enfocadas al apoyo y desarrollo de personas con discapacidad visual leve o grave, una de estas técnicas es la tiftotecnología la cual tiene como objetivo aprovechar la tecnología y herramientas de manera práctica para brindar una mejor calidad de vida a las personas con discapacidad

visual. Un ejemplo de la aplicación de la tiflotecnología es el sistema Braille el cual permite representar los diferentes caracteres de un alfabeto, símbolo o número a fin de transmitir el contexto de manera textual, otra aplicación es el uso de un audio descriptivo para la transmisión de la bidimensionalidad de caracteres matemáticos y textos.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se han desarrollado una gran variedad de proyectos de aspecto social enfocados en las personas con discapacidad visual, algunos de los más representativos en la mencionada institución son, investigación de un sistema electrónico con detección de obstáculos para personas no videntes, el cual. (Loayza, 2016) afirma: “Es un sistema electrónico de detección de obstáculos que proporciona información al usuario empleando un sistema háptico compuesto por el contacto entre cuatro micro servomotores y cuatro dedos de la mano”, implementación de una aplicación enfocada a personas no videntes con pérdida total y parcial de la vista, para brindar accesibilidad a expresiones matemáticas mediante la utilización de audio tridimensional, el cual. (Dominguez, 2018), afirma que su aplicación, “la aplicación diseñada tiene las cualidades de poder seleccionar una expresión matemática, la cual será linealizada utilizando sonido envolvente (audio 3D) para transmitir al usuario no vidente de la aplicación la bidimensionalidad de la fórmula matemática seleccionada”. Estos proyectos mencionados son la motivación para continuar con la creación de sistemas para ayudar a una parte vulnerable de la sociedad en el Ecuador.

Alrededor del mundo, se han desarrollado varios estudios que fomentan sus bases en entornos virtuales con audio. Estos permiten fomentar habilidades de aprendizaje en personas no videntes. Según (Sánchez y Sáenz, 2006) en su publicación manifiestan su investigación en entornos interactivos con audio 3D para niños con discapacidad visual para ayudar al no vidente a comprender y resolver problemas de geografía y cultura de Chile. La aplicación denominada Audio Chile utiliza el audio 3D para orientar a sus usuarios a evitar e identificar obstáculos y las posiciones de los personajes dentro de un entorno definido. Existen otros trabajos que se destacan dentro de la utilización del audio 3D enfocado en personas no videntes uno de ellos es el diseño de juegos de audio tridimensional, por ejemplo el juego llamado Sound Hunter (Bringer, 2013); la interfaz que utiliza este juego se la probó con personas no videntes y videntes para obtener resultados respecto a la navegación que este ofrece, el juego se basa en datos generados con el acelerómetro de un Smartphone para percibir el sonido 3D en este juego es necesario la utilización de auriculares.

La investigación realizada por Luis Thur consiste en la verbalización de sistemas matemáticos a partir de ecuaciones matemáticas las cuales se encuentren escritos en lenguaje LaTeX (Mittlebach, Braams, Rowley, & Rahtz, 2018). La mencionada propuesta centra sus objetivos en utilizar un lector de pantalla o TTS, con estos sistemas mencionados se procede a realizar la lectura de cadenas de caracteres matemáticos o de texto los cuales se muestran en la pantalla, las desventajas que se presentaron en la mencionada investigación fueron la lectura del texto en LaTeX, ya que el mencionado lenguaje no se describe de una manera comprensible y entendible, esto debido a que los caracteres peculiares al momento de ser leídos no cuentan con similitud con las palabras algebraicas, por lo cual se necesitó de una conversión de lenguaje LaTeX a lenguaje CMathML, y así el contenido en CMathML pudo ser leído naturalmente por un lector de pantalla (Thur, 2016).

Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un software matemático, el cual será desarrollado en Python 3 debido a su portabilidad y su filosofía en la legibilidad de su código, la aplicación informática permitirá obtener las ecuaciones de manera directa desde archivos PDF, la ecuación seleccionada será transformada en lenguaje matemático LaTeX, PMathML y CMathML. Para su posterior reproducción con audio Monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons.

Este software matemático se enfoca de manera directa en estudiantes con problemas de deficiencia visual leve, moderada y grave los cuales se encuentren cursando educación básica, bachillerato y universitaria. Para probar el diseño y el beneficio que el software matemático puede brindar a las personas no videntes se pretende realizar pruebas con una población de personas no videntes de instituciones públicas y privadas del Distrito Metropolitano de Quito, midiendo los resultados mediante entrevistas y encuestas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una aplicación que permita la accesibilidad a ecuaciones matemáticas utilizando audio 3D enfocada a personas no videntes.

Objetivos Específicos

- Investigar sobre trabajos previamente realizados enfocados en aplicaciones informáticas que utilicen audio 3D para enseñar expresiones matemáticas a personas que tengan discapacidad visual parcial y total.
- Estudiar sobre la utilización de algoritmos en audio 3D en el campo educativo y de inclusión social.
- Investigar la producción de audio 3D utilizando Earcons y Spearcons en lenguaje de programación Python.
- Capturar y transformar las ecuaciones matemáticas a lenguaje MathML y a texto.
- Transformar de lenguaje MathML a un audio descriptivo.
- Aplicar audio 3D a audio descriptivo de la ecuación matemática.
- Evaluar el desempeño práctico de la aplicación mediante el análisis de los datos adquiridos con la participación de personas que tengan pérdida parcial o total de la vista.

Capítulo II

En el presente capítulo se menciona la teoría utilizada para el diseño y construcción de la aplicación matemática enfocada a personas no videntes, por lo cual se expone de manera detallada las definiciones necesarias para el entendimiento de cada uno de los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto de investigación. Se iniciará detallando los conceptos básicos que definen a la población en la cual se enfocará la investigación continuando con las ventajas y desventajas de las herramientas utilizadas para el diseño y construcción.

Marco Teórico

Discapacidad visual

En el transcurso de la vida de un ser humano todos presentamos de alguna forma una aproximación a una discapacidad ya sea esta ocasionada por un accidente o enfermedad, la Organización Mundial de la Salud considera tres tipos de discapacidad: sensorial, física y mental.

A nivel mundial, según la Organización Mundial de la Salud el 8 de octubre del 2019, existe alrededor de 2200 millones de personas las cuales presentan deficiencia visual o ceguera, de este grupo de personas por lo menos 1000 millones pudieron evitar esta característica teniendo un tratamiento a tiempo. Los problemas de visión moderada, grave o ceguera no impactan a todas las personas que la padecen por igual existe una mayor frecuencia de afectación a personas las cuales se encuentra situadas en zonas rurales, personas con índices de ingreso bajos, a las personas de edades adultas, personas que tienen discapacidad y a las minorías étnicas (OMS, 2019).

Tipos de discapacidad visual

La discapacidad visual se compone de dos tipos: baja visión y la ceguera, dentro de la baja visión se encuentran la discapacidad visual grave y la discapacidad visual moderada (OMS, 2019).

Discapacidad visual moderada y grave

Este tipo de discapacidad visual hace referencia a la pérdida parcial de la calidad y capacidad visual en la cual se pueden formar varias subcategorías tales como el impedimento visual, la limitación visual y baja visión.

- **Impedimento visual:** En este grupo encuentran las personas que presentan condiciones específicas en los elementos que forman parte del ojo o de daños en la estructura del mismo.
- **Baja visión:** Este grupo se compone de personas que presentan limitaciones en cuanto a poder visualizar objetos distantes sin embargo mantienen una buena visión en objetos cercanos al individuo.
- **Limitación visual:** En este grupo se encuentran personas que no pueden observar objetos con iluminación habitual y necesitan de iluminación artificial.

Ceguera.

Este grupo lo conforman personas las cuales perdieron totalmente su capacidad visual, o cuando pueden percibir la luz sin proyección. Esta característica puede aparecer debido a varias circunstancias como lesiones en el ojo, lesiones en el sistema nervioso encargado de unir al ojo con el cerebro.

Discapacidad visual en el Ecuador

En el Ecuador existe un aproximado de 274 000 personas no videntes según cifras del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Para este grupo vulnerable de la sociedad el acceso a dispositivos o aplicaciones que les permitan tener una mejor adaptación e inclusión social en institutos de educación o en la vida cotidiana es limitado (Planificación, 2018).

El Ecuador cuenta con la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador (FENCE), la cual es una estructura de derecho jurídico, que no fines de lucro, y fue creada para servir a las personas con discapacidad visual leve, moderada y grave, en todo el territorio nacional del Ecuador. La FENCE fue constituida el doce de abril de 1985, según el acuerdo ministerial No.801 del dieciséis de junio de 1987, la cual presentó una reforma estatutaria No.00294 del veinticuatro de diciembre del 2010 (FENCE, 2017).

El objetivo principal de esta institución es impulsar en las personas no videntes el progreso y desarrollo, de acuerdo a las corrientes actuales de la tiflogía y velar por el mejoramiento educativo, cultura, social y económico de sus instituciones y personas asociadas (FENCE, 2017). El logo y lema de la FENCE se observa en la Figura 1.

El lema de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador expresa la Búsqueda de una rehabilitación, educación e inclusión de las personas con discapacidad visual, leve, moderada y grave (FENCE, 2017).

Figura 1

Logo de la Federación Nacional de Ciegos del Ecuador.

Fuente: (FENCE, 2017).



Herramientas de inclusión para las personas con discapacidad visual.

Sistema Braille.

El lenguaje para personas con deficiencia visual o también conocido como sistema Braille lo utilizan personas con discapacidad visual parcial, total o ciegos para poder leer y escribir textos mediante escritura táctil. El inventor de este sistema fue Luis Braille de nacionalidad francesa, su sistema se basa en la lecto-escritura a través de grupos de puntos. El mencionado sistema no solo es un código de escritura y lectura utilizado por personas con deficiencia visual, su principal característica es ser un medio de comunicación alternativo al método visual (Matinez & Liebana Delfina, 2004).

El sistema Braille, utiliza el sentido del tacto mediante el uso de las yemas de los dedos, este sistema consta de seis puntos importantes los cuales se encuentran distribuidos en dos hileras paralelas de tres, con esto se obtienen diferentes caracteres con relieve. En este alfabeto se representa letras, números y signos teniendo un total de 256 caracteres que conforman el alfabeto internacional Braille.

En la parte matemática el sistema Braille es complicado en el entendimiento de caracteres matemáticos y ecuaciones. Esto se debe a varias razones sobre todo en la interpretación de la ubicación de cada elemento de una fórmula, la complejidad del entendimiento depende de la dificultad de la ecuación a interpretar y esto se debe a que las ecuaciones pueden constituirse de numeradores, denominadores, exponentes, radicales, entre otros. Por esta razón se necesita presentar una manera diferente para el

aprendizaje y comprensión de ecuaciones matemáticas (Matinez & Liebana Delfina, 2004).

Cada carácter o celda en el sistema Braille cuenta con 6 posiciones puntuales, distribuidas en un rectángulo de ancho con un aproximado a 2.5 mm la cual contiene dos columnas con tres posiciones cada una, en la Figura 2, se puede observar la tabla de caracteres convencionales de la escritura Braille en español (Saad, 2010), en la Figura 3, se puede observar el nombre y apellido del autor del proyecto escrito en lenguaje Braille.

Figura 2

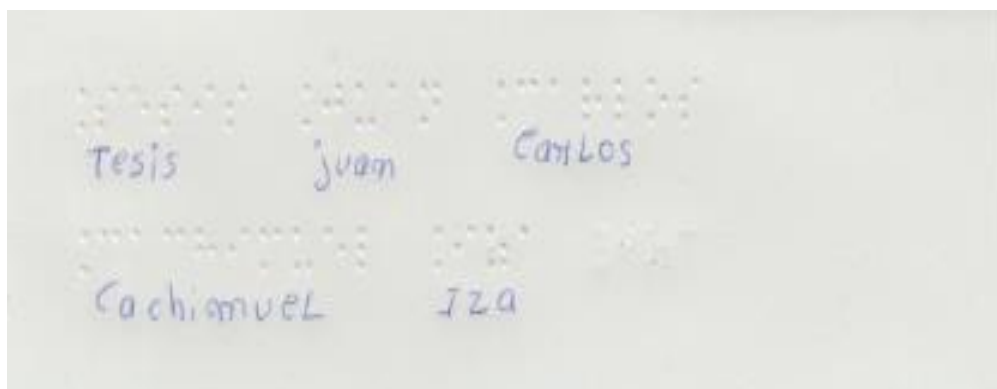
Cartilla Braille convencional adaptada al idioma español.

Fuente: (Saad, 2010)

⠁	⠃	⠉	⠑	⠅	⠋	⠗	⠎	⠊	⠛	⠏	⠍	⠎	⠝
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n ñ
⠏	⠕	⠖	⠟	⠠	⠡	⠢	⠣	⠤	⠥	⠦	⠧	⠨	
o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z		
⠁⠗	⠁⠗	⠅⠗	⠊⠗	⠋⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗	⠛⠗
a-á	e-é	i-í	o-ó	u-ú	ü	simple	compacta	Mayúsculas					
⠂	⠆	⠄	⠔	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠
,	;	:	.	¿	!	()	" "	*	grado	-	—		
⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0				
⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠
+	-	x	÷	,	=	()	[]	signo numérico	√	%			

Figura 3

Texto escrito en lenguaje Braille por los participantes del proyecto de investigación.



Imprenta Braille en el Ecuador.

La Federación Nacional de Ciegos del Ecuador cuenta con la primera y única imprenta Braille en el país, este logro se lo pudo realizar con el apoyo de la Federación Central de Impedidos Visuales de Finlandia y al Ministerio de Educación del Ecuador. La imprenta Braille de la FENCE tiene aproximadamente dos décadas de lograr un apoyo excepcional a la inclusión educativa, formativa e informativa de las personas con todo tipo de discapacidad visual, brindando sus servicios a instituciones públicas y privadas. Los servicios que brinda este proyecto son, libros, folletos, menús, dípticos, trípticos, carpetas institucionales y tarjetas de presentación todos los antes mencionados se encuentran en braille y macro tipo (FENCE, 2017).

Síntesis de voz.

Principalmente se ha considerado que la unidad elemental de la voz de un ser humano sería el fonema. Esto debido a la abstracción de las unidades acústicas elementales concretas en una lengua específica. En el proceso de producción de un fonema la onda acústica se encuentra sometida a variaciones en su amplitud y de configuración. Para describir de forma directa la onda acústica es necesario acudir a intervalos de tiempo relativamente cortos en los cuales las características del sonido se puedan considerar prácticamente constantes.

La síntesis de voz es una producción artificial de los fonemas del habla, para llevarse a cabo se utilizan dispositivos tecnológicos como computadoras, teléfonos celulares, tablets entre otros, a esta tecnología se la conoce principalmente por su seudónimo en inglés text-to-speech (TTS). Principalmente se lo ha utilizado de gran manera en personas con discapacidades, sin embargo, su mayor aceptación y aplicación surge en personas que presentan todo tipo de discapacidad visual, ya que permite a este grupo de personas vulnerables de la sociedad obtener información mediante el uso aplicaciones que utilicen este sistema ejemplos como la lectura de libros entre otros. Una de las principales ventajas de su aplicación es su reducido costo, debido a que existen varias aplicaciones que son de software gratuito (Dominguez, 2018).

Sonido

El sonido es un fenómeno físico el cual se constituye de ondas sonoras, es la sensación producida en el oído por medio de los movimientos vibratorios de los cuerpos se transmite por un medio elástico como el aire.

Este término tiene su origen en latín *sonitus* el cual significa, “ruido”, “rugido” o “chirido”. Para que un ser humano pueda captar las vibraciones, deben oscilar aproximadamente entre 20 y 20.000 veces por segundo debido a que las frecuencias que se pueden escuchar van desde los 20Hz a 20KHz.

Digitalización del sonido.

Los sistemas de tecnología modernos como computadoras, teléfonos celulares, tablets, entre otros, permiten manejar sonido digital, esto indica que pueden almacenar, procesar y reproducir sonidos de diversos tipos. Cualquier tipo de información para que pueda ser manejada por un sistema computacional es necesario que la misma sea almacenada mediante ceros y unos (información digital), el proceso de introducir en un sistema computacional a un elemento externo a ella se denomina digitalización (Sacco, 2004).

En el mundo la mayor parte del sonido que existe es analógico, para que este sea procesado se necesita capturarlo a través de dispositivos electrónicos. Cuando se digitaliza el sonido para ser almacenado en el disco duro de una computadora se debe elegir el formato en el cual este será guardado. El formato de Windows para almacenamiento de sonidos se llama WAV.

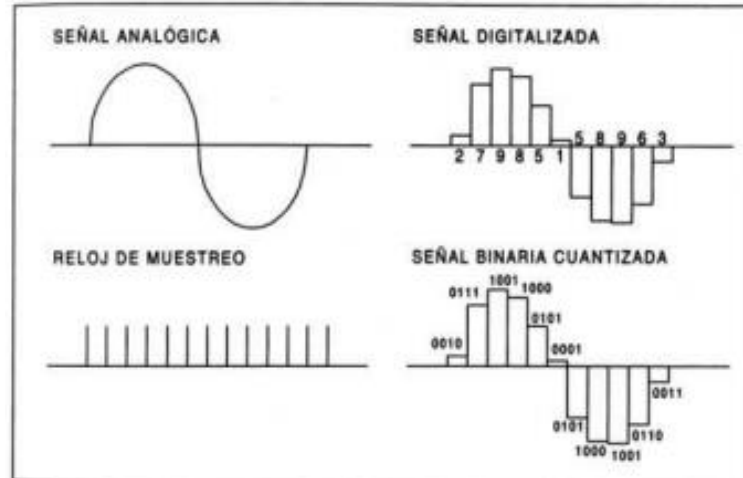
Los archivos WAV almacenan el total de bits obtenidos de la digitalización, para calcular el espacio que ocupará un archivo de este tipo. Se deben considerar factores como el tiempo de duración del sonido, la frecuencia de muestreo y la resolución utilizada. Una de las características principales de este archivo WAV es que estos archivos bajo las características mencionadas ocupan gran cantidad de espacio en el disco, conservando toda la calidad obtenida en la digitalización. Surgieron en el transcurso del tiempo formatos que reducían el espacio consumido en el disco, uno de los más importantes es el archivo MP3.

Este formato aprovecha la característica de que no todos los sonidos son identificados de manera correcta por el oído del ser humano y a esto se le agrega el uso de complejas técnicas de compresión para lograr archivos más pequeños de los habituales con formato WAV, la calidad entre estos dos formatos es imperceptible (Sacco, 2004). En la Figura 4, se muestra de manera gráfica el proceso de muestreo y digitalización del audio según Navarro J. (Navarro, 2021).

Figura 4

Proceso de muestreo y digitalización de Audio.

Fuente: (Navarro, 2021).



Tipos de sonido.

Existen dos tipos de grabaciones que se pueden realizar en el sonido digital y estas son: sonido monofásico y estereofónico. Los dos antes mencionados presentan diferencias marcadas las cuales se las puede apreciar de mejor manera al momento de reproducir y escuchar el audio generado por cada uno de los mismos (Sacco, 2004).

Estereofónico.

El sistema constituido por sonidos estereofónicos se compone de dos canales independientes los cuales captan señales de audio. Las ondas emitidas por este sistema tienen un nivel específico y una variación de fase. Este tipo de sonidos varía entre dos canales simulando la percepción de profundidad y dirección, este sistema es más comúnmente utilizado en radio FM, televisión, entre otros.

Monofónico.

El sistema constituido por sonidos monofónicos se compone de señales de audio que se encuentran mezcladas a través de un canal simple de audio. El mencionado sonido solo se escucha en una posición específica, el uso más común de este sonido se lo relaciona directamente a programas de radio AM y comunicación telefónica.

Sonido 3D.

Un sonido generado en el espacio crea una onda acústica que se propaga a través de los oídos del oyente, cuando el sonido es producido a la izquierda del oyente, este sonido llega al oído izquierdo antes que al oído derecho por lo cual se produce un retraso además de atenuarse debido a la sombra que se genera por la cabeza (Gardner, 1990).

El Sonido 3D tiene como principal característica la capacidad de posicionar sonidos alrededor del oyente, generalmente los sonidos son reproducidos a través de altavoces o auriculares lo cual proporciona al oyente la percepción de que el sonido proviene de varios puntos arbitrarios alrededor del espacio.

Esta percepción proporciona imágenes virtuales o fantasmas del sonido. Se conocen dos formas de generación de audio 3D las cuales emplean diferentes tecnologías:

- Utilizando tecnología binaural la cual se la desarrolla con la utilización de auriculares los cuales son los encargados de la reproducción del audio, generando una perspectiva de espacialidad al oyente.
- Utilizando altavoces los cuales se encuentren repartidos alrededor de una sala con esto se proporciona al oyente la perspectiva de movimiento espacial.

El software matemático diseñado e implementado en este proyecto de investigación utilizará la tecnología binaural debido a que emplea auriculares de diadema para la transmisión del audio 3D con Earcons y Spearcons a las personas no videntes participantes del proyecto.

Producción de Earcons y Spearcons.

La utilización de Earcons y Spearcons sirve para representar un sonido breve y distintivo, el cual simboliza un evento específico o busca transmitir un tipo de información específica. Estos pueden ir desde un simple pitido para indicar un error hasta sistemas de sonido personalizables en sistemas operativos. Los Earcons son tonos sintetizados o patrones de sonidos específicos, los Spearcons son breves señales de audio que pueden desempeñar roles semejantes a los Earcons sin embargo son más efectivos (Li, y otros, 2017).

Lenguaje Matemático.

LaTeX.

LaTeX es un sistema que permite preparar documentos y organizar manuscritos, artículos de revista, tesis y cualquier tipo de documento que se quiera imprimir en pantalla o en papel, en este sistema se incluyen todo tipo de caracteres como ecuaciones matemáticas, gráficas, referencias bibliográficas, entre otros. En la figura 5, se observa el código generado en Python con el software matemático diseñado de una integral escrita en código LaTeX.

Figura 5

Ecuación en código LaTeX.

$$\int_0^{\infty} e^{-x} = 1$$

```
\int _ { 0 } ^ { \infty } e ^ { - x } d x = 1
```

MathML.

MathML es una codificación basada en XML abreviatura de Extensible Markup para ecuaciones matemáticas. XML surgió como el formato de datos dominante subyacente a la infraestructura de información a nivel mundial. XML define la sintaxis común en lenguaje matemático y permite que sus respectivas áreas definan los tipos de datos, MathML es uno de estos tipos de datos.

MathML es un tipo de codificación visual y contenido semántico de expresiones matemáticas, esta codificación fue desarrollada bajo la tutela de W3C, organismo responsable de la mayoría de estándares relacionados con Webrelated tales como HTML, XML entre otros. EL objetivo de W3C al desarrollar MathML fue proporcionar una mejor manera de mostrar ecuaciones matemáticas en páginas web, sin embargo, MathML se transformó en un medio de presentación y comunicación de expresiones matemáticas en XML.

MathML apareció por primera vez como una recomendación de W3C en el año de 1998, una de las principales ventajas que este lenguaje matemático es que permite el presentar un modelo para la presentación de ecuaciones matemáticas para la Worldwide

Web, la mayoría de los navegadores a nivel mundial ya tienen el soporte integrado para este lenguaje matemático. Existen dos maneras en las cuales se puede representar el lenguaje matemático MathML y son CMathML y PMathML (Miner, 2005).

PMathML.

PMathML constituye el marcado de presentación del lenguaje MathML, siendo su principal objetivo describir una estructura de las expresiones matemáticas para lo cual usa constructores con variables de notación matemática tradicional.

Para estas notaciones se incluyen 37 tags los cuales son utilizados para la representación de fórmulas de carácter matemáticos, Algunos de los tags que son más utilizados en este lenguaje son <mo>, <mi>, <mrow>, la utilización de estos tags es para la diferenciación y jerarquización de operadores variables y operaciones matemáticas.

Figura 6

Ecuación en código PMathML.

$$\int_0^{\infty} e^{-x} = 0$$

```

1  <math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML" display="inline">
2  <mrow>
3    <msubsup>
4      <mo>&#x0222B;</mo>
5      <mrow>
6        <mn>0</mn>
7      </mrow>
8      <mrow>
9        <mo>&#x0221E;</mo>
10     </mrow>
11    </msubsup>
12    <msup>
13      <mi>e</mi>
14      <mrow>
15        <mo>&#x02212;</mo>
16        <mi>x</mi>
17      </mrow>
18    </msup>
19    <mi>d</mi>
20    <mi>x</mi>
21    <mo>&#x003D;</mo>
22    <mn>1</mn>
23  </mrow>
24 </math>

```

En la figura 6, se observa el código generado en PMathML, con el software diseñado en Python 3, el mismo que describe una integral con límite superior e inferior. PMathML permite describir funciones matemáticas utilizando el lenguaje MathML, esto igual a HTML, PMathML se describe con etiquetas y atributos.

Las expresiones matemáticas son complicadas debido a que sus estructuras contienen, matrices, fracciones, raíces o determinantes.

Las buenas herramientas de redacción con las que cuenta PMathML son verdaderamente fundamentales para poder describir la bidimensionalidad de las ecuaciones matemáticas PMathML puede ser compatible con Unicode para ser utilizados en un sin número de escenarios con el propósito de brindar un mayor soporte a los programadores (MDN, 2013). MathML es un estándar de la industria adoptado por World Wide Web Consortium, como el método adecuado para expresar matemáticas en la Web.

PMathML es un estándar abierto internacional para la codificación de contenido matemático. Además, es necesario porque HTML no cuenta con la forma de marcar expresiones matemáticas.

Al usar PMathML se proporciona un nivel más alto de accesibilidad a las matemáticas dentro de los documentos de carácter digital otorgándoles de manera directa una mejor presentación y semántica.

CMathML.

CMathML constituye el marcado de contenido de MathML, su objetivo principal es la descripción semántica de las ecuaciones matemáticas. Este lenguaje contiene 129 tags y los más representativos son `<cn>`; `<ci>`, `<aply>`, al tener un mayor número de tags en comparación que el lenguaje PMathML este proporciona un código más extenso. En la figura 3, se observa el código en lenguaje CMathML, de una integral con límites superior e inferior, el código se lo realiza utilizando Python 3, en el software matemático diseñado, las figuras 5, 6 y 7 hacen referencia al mismo ejemplo.

Varios navegadores son compatibles con CMathML y la compatibilidad que este lenguaje matemático tiene directamente con aplicaciones matemáticas es omnipresente. Para escribir en lenguaje CMathML se necesita solo un editor de texto, sin embargo, existen varias herramientas disponibles que facilitan el trabajo. MathWG cuenta con una

lista extensa en su wiki que muestra la compatibilidad del lenguaje matemático mencionado con navegadores (W3C, 2021)

Figura 7

Ecuación en código CMathML.

$$\int_0^{\infty} e^{-x} = 0$$

```
1 <math xmlns="http://www.w3.org/1998/Math/MathML">
2   <apply>
3     <eq/>
4     <apply>
5       <int/>
6       <bvar>
7         <ci>x</ci>
8       </bvar>
9       <lowlimit>
10        <cn>0</cn>
11      </lowlimit>
12      <uplimit>
13        <infinity/>
14      </uplimit>
15      <apply>
16        <power/>
17        <exponentiale/>
18        <apply>
19          <minus/>
20          <ci>x</ci>
21        </apply>
22      </apply>
23    </apply>
24    <cn>1</cn>
25  </apply>
26 </math>
```

Capítulo III

Diseño del software

En el capítulo que se presenta a continuación, se describe de manera detallada el proceso para el diseño y construcción del software matemático enfocado en personas no vidente. Inicia, con el esquema general para describir cada uno de los módulos que constituyen la aplicación, los mencionados módulos son descritos de una manera detallada para identificar su función específica dentro del software diseñado y el aporte que estos módulos otorgan para lograr conseguir los objetivos.

Inclusión de personas no videntes en las instituciones de educación pública en el Ecuador.

Según (Herrera, Perez, & Echeita, 2016) y otros autores como (Lee, Yeung, & Barker, 2015), expresan que la educación inclusiva se compone de una serie de pasos orientados a dar respuestas a la diversidad de las necesidades globales que contiene el sistema educativo público y privado. Todo esto basado en la calidad y la equidad de la educación para todos los integrantes de la sociedad, como un derecho humano básico. El estado ecuatoriano según el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 denominado “Toda una Vida” en su primer objetivo propone “garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas” (Senplades, 2017). A pesar de esto los avances en el acceso a una educación inclusiva presenta desigualdades como por ejemplo la oferta educativa.

En el transcurso de los años la educación inclusiva ha tomado fuerza en las leyes y políticas del Ecuador, buscando integrar de manera equitativa a todos los jóvenes sin importar sus condiciones físicas. Específicamente las personas no videntes utilizan lectores de pantalla con el fin de robustecer su aprendizaje. Los lectores de pantalla son programas informáticos que muestran el contenido de la pantalla de un dispositivo electrónico utilizando sintetizadores de voz. Estos lectores de pantalla ayudan a fortalecer de manera directa el aprendizaje de las personas con discapacidad visual, generando un mayor número de oportunidades de acceso a la variedad de fuentes de información. Según (Rosado, Ortega, Medranda, & Basurto, 2018), expresan que el ojo es el órgano más importante del ser humano esto debido a que el 80% de la información necesaria para vivir en sociedad se la capta a través de la vista, el mencionado órgano da libertad e independencia, a la ausencia de este órgano primordial, el ser humano tiende a fortalecer otros sentidos como la audición y el olfato.

Las personas no videntes tienen varios problemas de inclusión en la vida cotidiana, esencialmente en su formación académica esto debido a las limitaciones que su discapacidad les genera, en el área de ciencias exactas y otras áreas de educación.

Las personas no videntes necesitan material didáctico de alto relieve para su preparación académica, sin embargo, esto es un limitante debido a los reducidos recursos económicos con los que cuentan y los mínimos recursos de enseñanza con los que cuentan las instituciones a las que pertenecen las personas no videntes, para brindarles una educación de calidad a pesar de su condición visual.

Específicamente en el área de ciencias exactas las personas no videntes necesitan de varios documentos escritos en alto relieve y esto un limitante debido a que estos escritos no cuentan con la definición de un gran número de caracteres matemáticos con ecuaciones complejas, para una enseñanza de calidad a una persona no vidente, se necesita contar con recursos materiales y tecnológicos los cuales permitan brindarles una metodología adecuada para su aprendizaje (Coral, 2013).

Diagrama General del sistema.

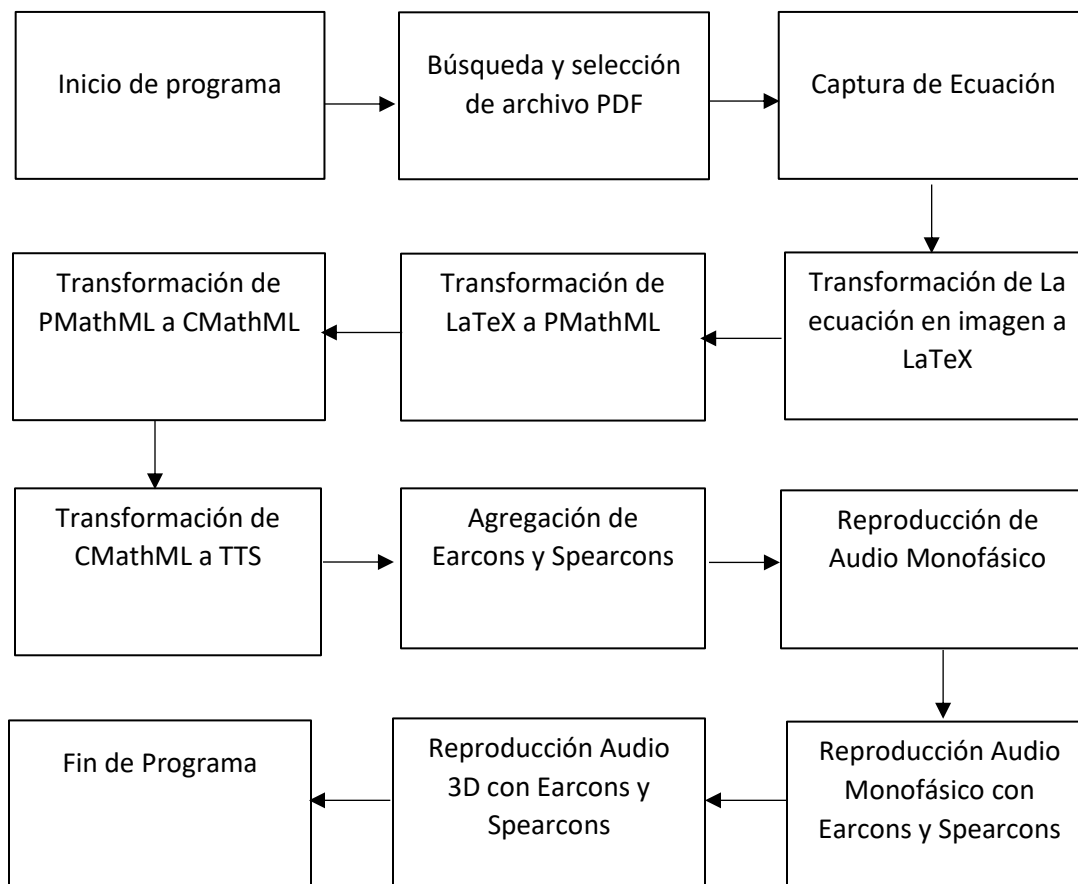
En la actualidad es extraordinario que la sociedad se cuestione sobre las virtudes que una persona no vidente tiene, por esto es innegable que una persona no vidente con el material tecnológico adecuado puede desarrollar sus destrezas y conocimientos con una mayor facilidad (Coral, 2013).

Bajo estas condiciones el software matemático diseñado ofrece a las personas no videntes ayudarlos de manera directa a conocer, interpretar y transmitir la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos que componen una ecuación. Este proceso se lo realizará con audio 3D combinado con Earcons y Spearcons.

El software matemático, se convertirá en una herramienta tecnológica gratuita que permitirá a las personas no videntes mejorar su aprendizaje en el área de ciencias exactas, sumando una alternativa llamativa y de menor costo a los tradicionales textos con relieve, además de las mencionadas ventajas el software matemático ayudará a mejorar la agilidad, orientación, autoestima y comprensión de la matemática a las personas no videntes.

Figura 8

Diagrama General de la aplicación.



En la Figura 8, se puede observar el diagrama general del software matemático diseñado el cual permite extraer ecuaciones de archivos PDF y reproducir su bidimensionalidad utilizando Audio 3D junto con Earcons y Spearcons. Además de audio monofásico, para que los usuarios puedan comparar entre estos dos tipos de audio, el programa se compone de 10 módulos los cuales tienen funciones específicas.

El primer módulo denominado búsqueda y selección de archivos PDF permite buscar y seleccionar archivos con extensión .pdf. Los mencionados archivos se pueden buscar en todos los usuarios y carpetas que se encuentren en el disco duro de la computadora en la cual se corre el programa. Al tener seleccionado el archivo, la acción final que ejecuta este módulo es la de transformar el archivo PDF a imagen.

El segundo módulo llamado captura de la ecuación carga la imagen antes generada por el módulo de búsqueda y selección de archivos con extensión .pdf. Al estar la imagen cargada se puede realizar recortes en cualquier posición de la imagen. Para la selección de corte se utiliza el mouse el cual genera un rectángulo sobre la parte seleccionada. El proceso final de este módulo es el de guardar el recorte con la ecuación seleccionada.

El tercer módulo llamado transformación de la ecuación en imagen a LaTeX, es el encargado de transformar los caracteres matemáticos presentes en la imagen a código matemático LaTeX. Para esto se utiliza la librería de Python MathPix la cual permite realizar esta transformación (Mathpix, 2019), convirtiéndose en uno de los módulos principales del software matemático.

El cuarto módulo llamado transformación de LaTeX a PMathML, permite convertir la ecuación de formato LaTeX a formato matemático PMathML. Para esto se utiliza la librería Latex2mathml.

El quinto módulo llamado transformación de PMathML a CMathML transforma los caracteres matemáticos de la ecuación que se viene trabajando de formato PMathML a formato CMathML. Esto lo realiza mediante el intercambio por caracteres utilizando expresiones regulares.

El sexto módulo llamado transformación de CMathML a TTS desarrollado por Luis Arthur permite transformar el código en CMathML a texto el cual describe con jerarquía la misma que se encuentra definida e interpretada mediante el uso de paréntesis, el TTS utiliza Spaice Voz para leer el archivo .txt que se genera.

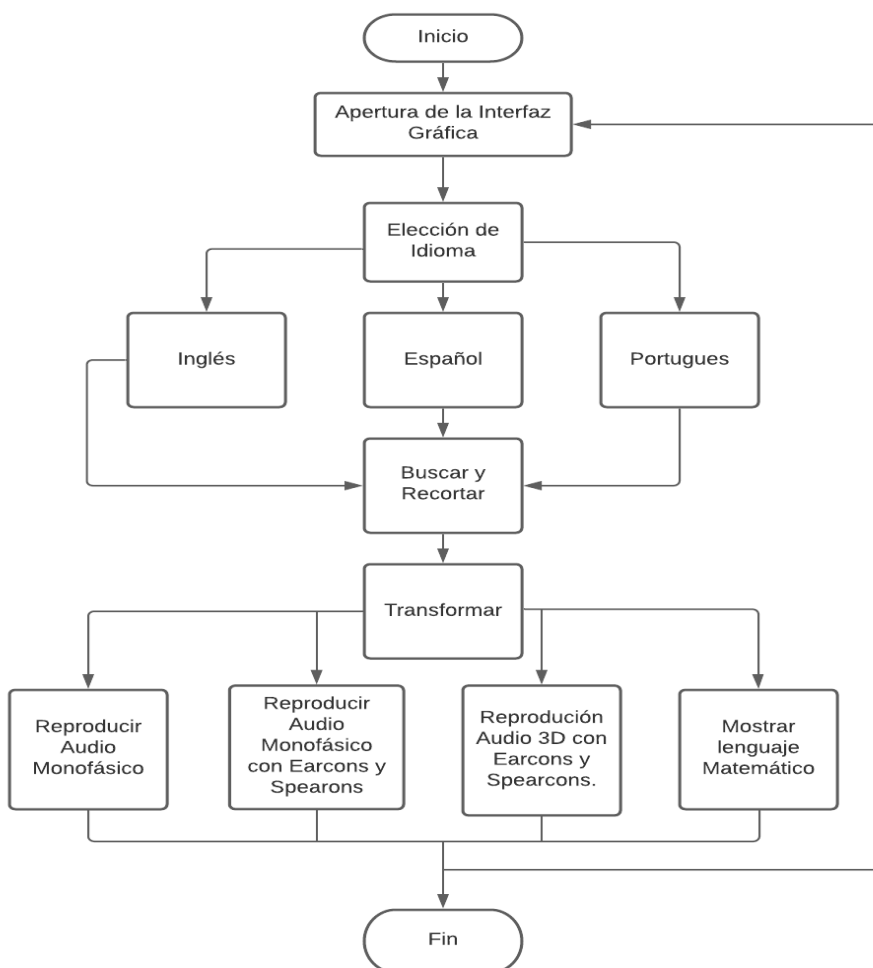
El séptimo módulo, agregación de Earcons y Spearcons, es el módulo en el cual se insertan variaciones de frecuencias para ser escuchados por los usuarios videntes y no videntes. De acuerdo a la jerarquía de los caracteres de la ecuación estas vibraciones cambian, por lo cual se usó la jerarquía de matemática que nos otorga el módulo CMathML a TTS, además de interpretar los audios con diferentes voces para conocer cuales brindan una mejor comprensión a las personas participes del proyecto.

El octavo módulo llamado reproducción de audio monofásico permite reproducir el audio generado con el TTS. Este audio no cuenta con ningún tipo de modificación.

El noveno módulo llamado reproducción de audio monofásico con Earcons y Spearcons permite reproducir el audio monofásico que representa la ecuación en conjunto con Earcons y Spearcons. El décimo módulo llamado Reproducción de audio 3D con Earcons y Spearcons, es el módulo encargado de transformar el audio generado por el TTS a un audio envolvente 3D. La librería utilizada en el módulo audio 3D es AudioSegment, cuya función es devolver una lista de segmentos de audio, donde cada uno de estos compone todo el sonido (Wang, 2007). Con esto y la ayuda de los Earcons y Spearcons se transmite la bidimensional de los caracteres matemáticos a las personas no videntes participes del proyecto. Con la ayuda de los módulos descritos se pudo completar los objetivos planteados. La ejecución de estos módulos se la puede observar en el Anexo B.

Figura 9

Diagrama de flujo general del Software Matemático.



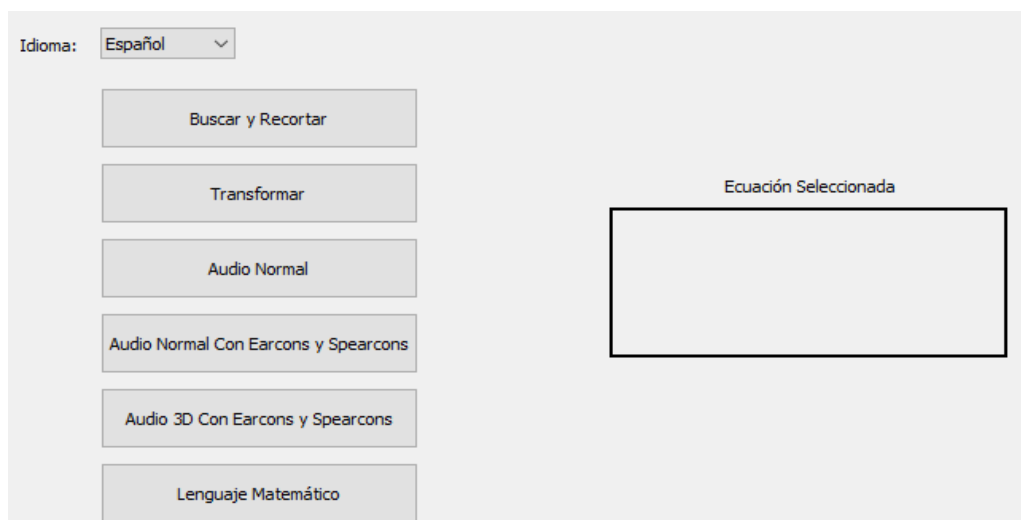
En la Figura 9, se puede observar el diagrama de flujo de manera general del software matemático diseñado. Se observan los módulos utilizados para cumplir con todos los objetivos planteados en este proyecto de investigación. Para iniciar con el proceso de ejecución del programa se abre el archivo ejecutable el cual muestra la interfaz gráfica que permite a los tutores videntes y las personas no videntes elegir entre los diferentes procesos que permite realizar el software matemático. El primer paso para iniciar con el programa es elegir el idioma entre tres disponibles los cuales son español, inglés y portugués. Luego de la selección del idioma se realiza la búsqueda de archivo PDF en el cual se encuentran las ecuaciones a transformarse, la interfaz de Python 3, diseñada para el proyecto de investigación permite desplazarse por todas las carpetas públicas de la computadora en la cual se está ejecutando y con eso poder encontrar el documento deseado. Posteriormente abrir el documento se procede a seleccionar el área donde se encuentra la ecuación y con esto se recorta el área de interés que contiene la ecuación. En la secuencia de ejecución del programa se procede a transformar, en esta sección se realiza la conversión a lenguaje matemático, texto y audio y finalmente se puede elegir entre diferentes reproducciones de audio y el mostrar los códigos matemáticos. Luego de finalizar el proceso se puede volver a seleccionar otra ecuación para seguir utilizando el programa y así sucesivamente hasta que los usuarios decidan dejar de ejecutarlo y cerrarlos presionando el símbolo X que se encuentra en color rojo en la parte superior derecha de la pantalla del software matemático. El proceso descrito en el diagrama de flujo se observa su ejecución en el Anexo B.

En el Anexo B, se describe el funcionamiento del software matemático enfocándose primordialmente en su interfaz gráfica. La interfaz gráfica diseñada en Python 3, con la ayuda de PyQt5 que es una librería que permite crear una interfaz gráfica, es amigable con los usuarios y sobre todo con los tutores videntes que utilizan este software matemático. Los tutores o mentores para las personas no videntes principalmente son sus madres las cuales han tenido que aprender de manera rápida el manejo de computadoras y plataformas digitales debido a las consecuencias de la pandemia por COVID-19 que vive el mundo. Por lo cual este software matemático presenta una interfaz intuitiva como se muestra en el Anexo B, cuenta con un número limitado de botones para realizar los procedimientos necesarios para obtener el audio 3D con Earcons y Spearcons, además de botones que permiten reproducir el audio monofásico. Con esto las personas no videntes pueden utilizar el audio de su conveniencia y el que les de mejores resultados en el aprendizaje de ecuaciones

matemáticas. En la Figura 10, se observa la interfaz gráfica de fácil acceso y amigable con el usuario, del software matemático diseñado.

Figura 10

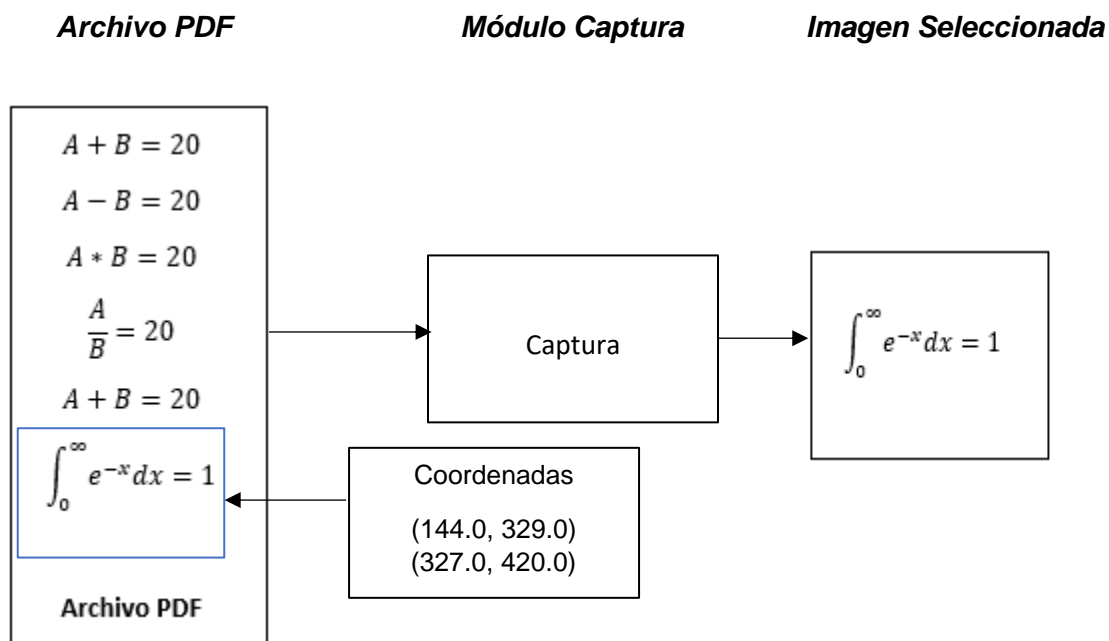
Interfaz gráfica del software Matemático diseñado.



Ingreso y Captura de expresiones matemáticas.

Figura 11

Diagrama del bloque de captura de la ecuación.



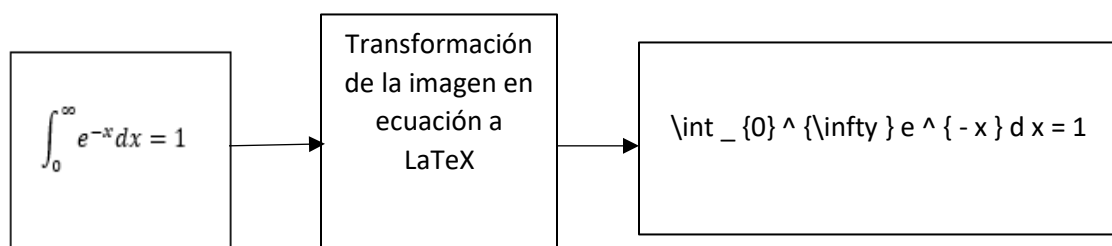
En la Figura 11, se muestra la entrada y la salida que tiene el módulo captura. Como se puede observar en el archivo PDF se encuentran varias ecuaciones, texto o imágenes. La ecuación seleccionada se la encierra en un rectángulo con la ayuda del mouse, para ser recortada luego del proceso interno que realiza el módulo se obtiene la ecuación seleccionada en un archivo .jpg para continuar con las transformaciones respectivas en el resto de módulos. Para que esté módulo se ejecute se utilizaron las siguientes librerías, ImageTX y shutil. Además, se puede observar el rectángulo en color azul generado con el mouse, este cuenta con sus componentes en el eje de las ordenadas y las abscisas, las cuales sirven para su posterior extracción de la ecuación seleccionada del archivo PDF y su transformación a imagen. Estas coordenadas son representadas mediante la posición de dos coordenadas por eje. Por ejemplo (144.0, 329.0) (327.0, 420.0), que son las coordenadas de la ecuación que se encuentra en el rectángulo de la Figura 11 del archivo PDF de la figura expuesta, en el primer paréntesis se representan las coordenadas en el eje de las abscisas y en el segundo paréntesis se observan las coordenadas en el eje de las ordenadas.

Conversión de imágenes a lenguaje matemático en LaTeX.

Figura 12

Diagrama del bloque de transformación de imagen a código LaTeX.

Imagen Seleccionada **Módulo de Imagen** **Código LaTeX**
a Código LaTeX.



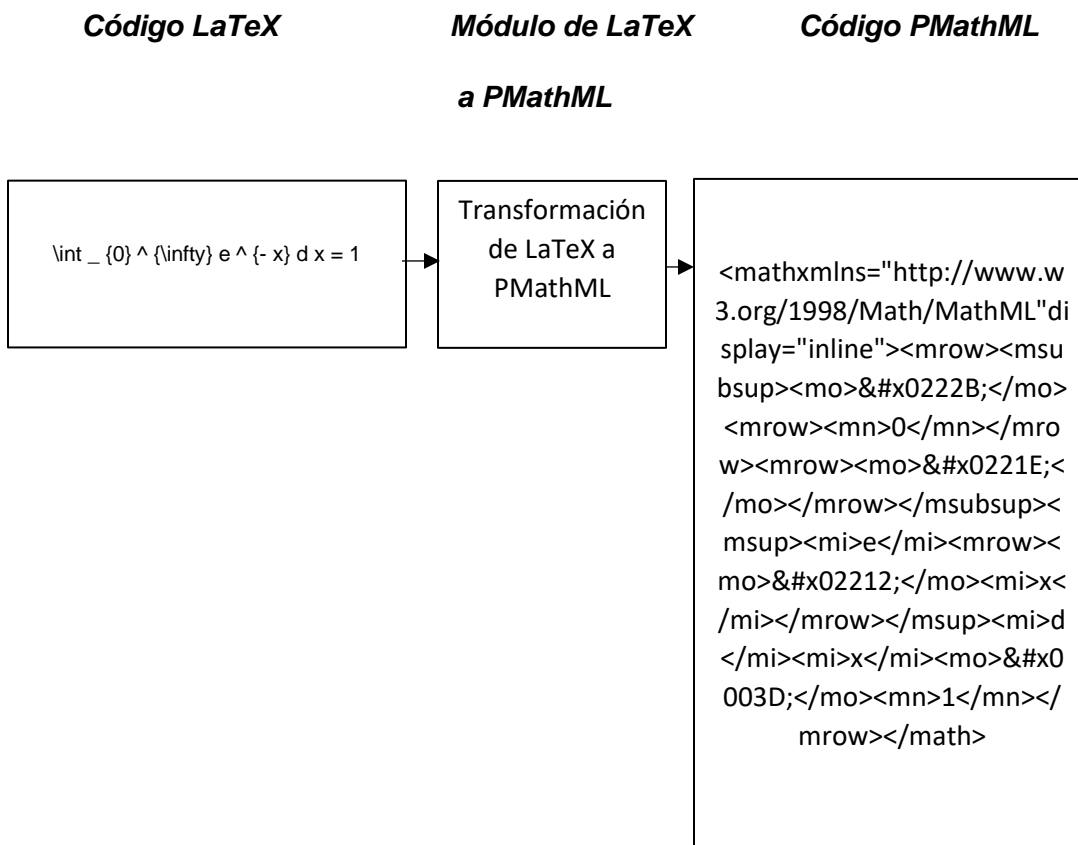
En el diagrama de la Figura 12, se observa la entrada y la salida del módulo transformación de la ecuación en imagen a LaTeX. Como se puede observar la entrada es la imagen previamente recortada y la misma es transformada en código LaTeX, para esto se utiliza la librería Mathpix de Python 3, esta librería es fundamental en la captura y transformación de la ecuación seleccionada, esto debido a que a partir del código

LaTeX que entrega este módulo se puede realizar el resto de transformaciones para obtener los resultados esperados tanto en códigos matemáticos como en archivos de audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons.

Conversión de LaTeX a lenguaje PMathML

Figura 13

Diagrama del bloque de la transformación de LaTeX a PMathML.

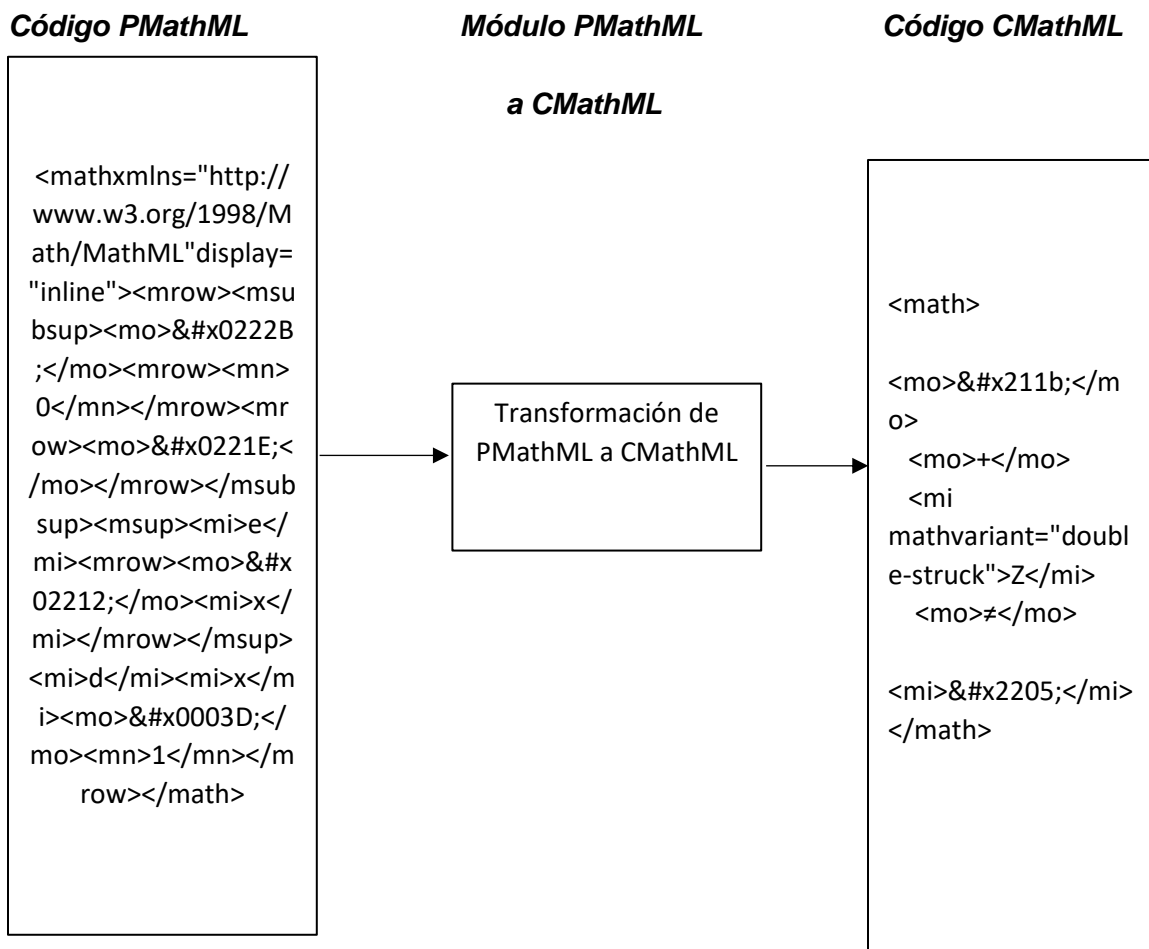


En el diagrama de la Figura 13, se observa la entrada y salida del módulo de Transformación de código LaTeX a código MathML, en la cual se puede constatar que los caracteres de la ecuación que ingresan en Látex son transformados por los caracteres en lenguaje PMathML, para esto se utiliza la librería latex2mathml. Cada carácter tiene su equivalencia en lenguaje MathML por lo cual esta librería permite cambiar cada uno de los caracteres de la ecuación presentada en lenguaje matemático LaTeX por caracteres en lenguaje PMathML para su posterior conversión en lenguaje CMathML.

Conversión de PMathML a CMathML.

Figura 14

Diagrama del bloque de la transformación de PMathML a CMathML.



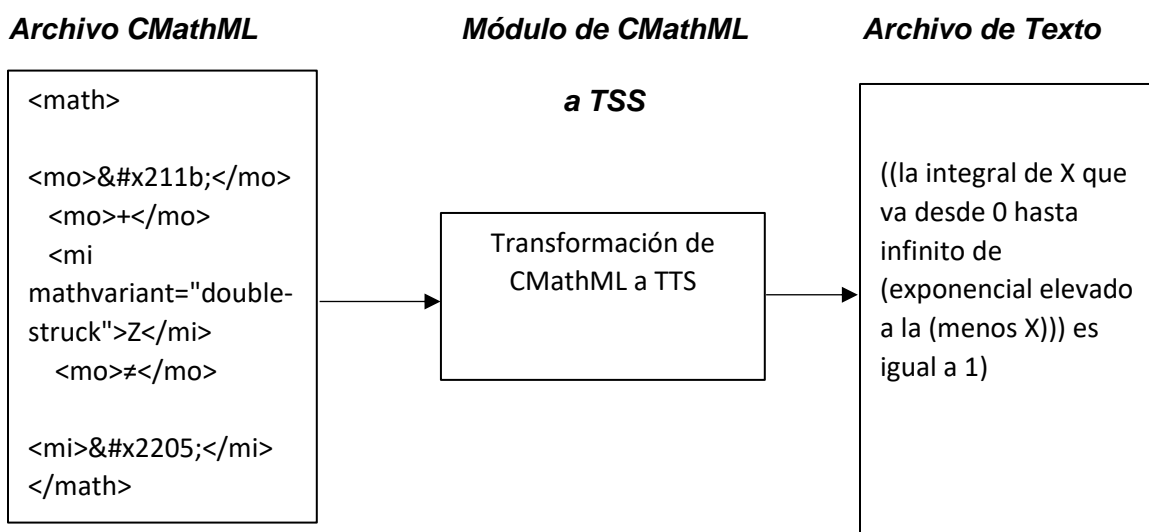
En el diagrama de la Figura 14, se observa, las entradas y salidas del módulo Transformación de código PMathML a código CMathML. La función principal de este módulo es intercambiar los caracteres del lenguaje PMathML a caracteres pertenecientes al lenguaje CMathML, para esto se utiliza la librería Metodos_P2C creada con la ayuda de expresiones regulares para el intercambio de caracteres. El módulo cuenta con todos los caracteres disponibles en PMathML y en CMathML lo cual le permite hacer el cambio de cualquier tipo de ecuación matemática. La librería creada cuenta con los números y caracteres tanto en lenguaje PMathML como en lenguaje CMathML para su intercambio,

cuando existen caracteres que no han sido tomados en cuenta en la base de datos, se los puede agregar de manera manual.

Conversión de CMathML a Text-to-speech.

Figura 15

Diagrama del bloque de la transformación de CMathML a TTS.

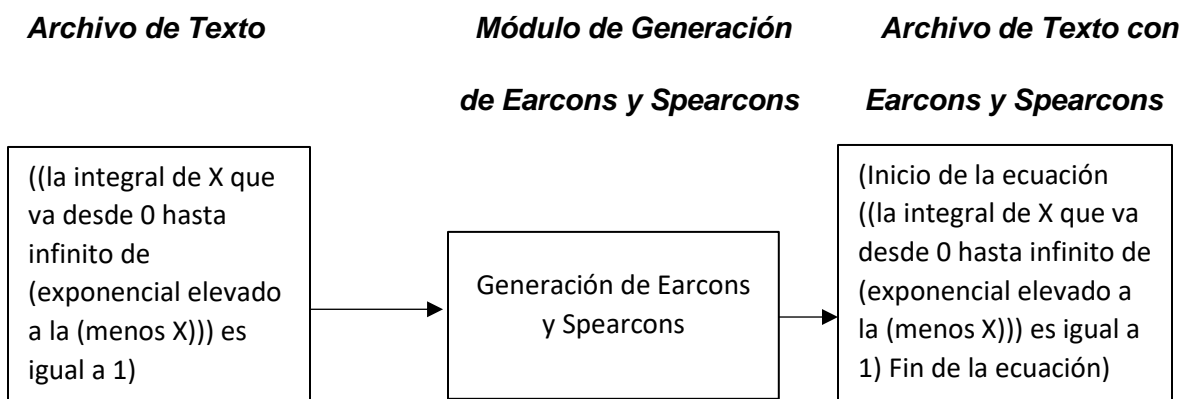


En el diagrama de la Figura 15, se observa la entrada y salida del módulo Transformación de CMathML a TTS, al ingresar a este módulo la ecuación se encuentra en lenguaje CMathML este es transformado en texto y se genera un archivo .txt, para ser leído posteriormente con el uso de Splice Voice. El archivo .txt utiliza paréntesis para dar jerarquía a los caracteres matemáticos que componen la ecuación para esto se utiliza las librerías CMathML2Txt y runcmath2txt, al tener la ecuación escrita.

Generación de Earcons y Spearcons.

Figura 16

Módulo de generación de Earcons y Spearcons



En el diagrama de la Figura 16, se observa la entrada y salida del módulo Generación de Earcons y Spearcons. Este módulo agrega texto al archivo .txt, el texto incluido es al inicio y al final del texto que contiene el archivo, al inicio se agrega el término “Inicio de la ecuación” y al final se agrega el texto “fin de la ecuación”, además de esto el mencionado módulo agrega pitidos de acorde a la jerarquía según los paréntesis que componen la ecuación en texto.

Generación de audio monofásico.

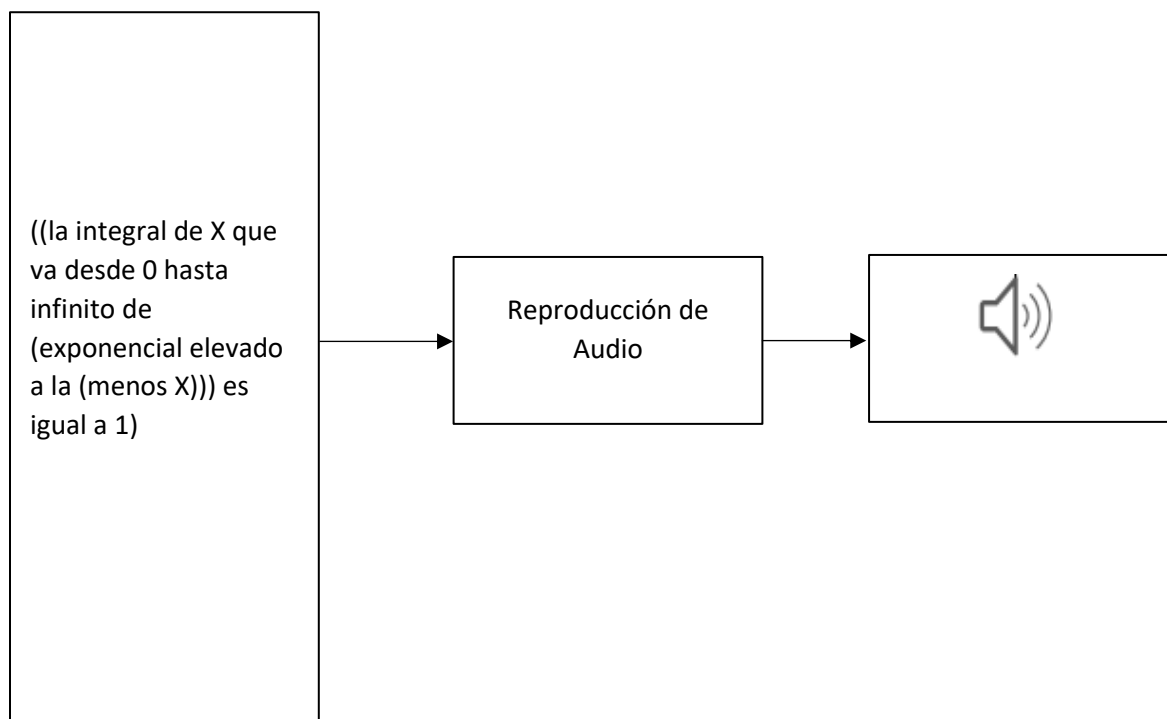
Figura 17

Generación de audio monofásico.

Archivo de Texto

Módulo Reproducción de audio monofásico

Reproducción de audio



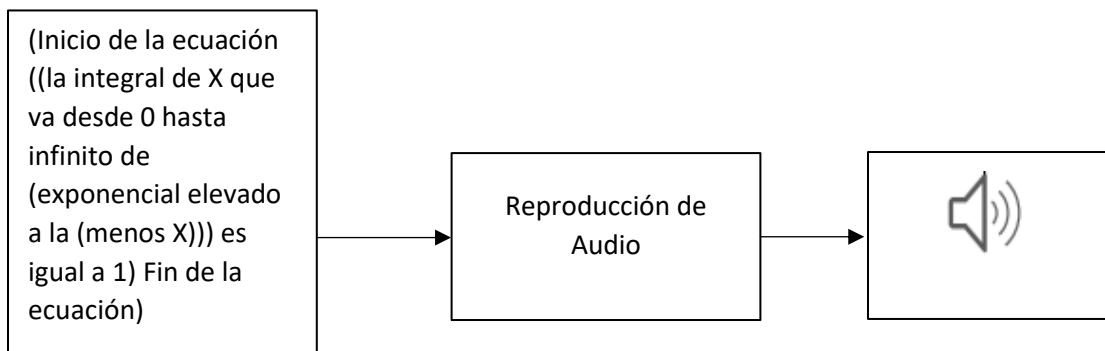
En la figura 17, se utiliza Spaiice Voice para reproducir el Audio Monofásico, el archivo .txt que contiene la ecuación en formato de texto es leído y reproducido con esto se brinda al usuario del software matemático el audio de la ecuación seleccionada del archivo PDF.

Reproducción de audio monofásico con Earcons y Spearcons.

Figura 18

Diagrama de reproducción de audio monofásico con Earcons y Spearcons.

Archivo de texto con Earcons y Spearcons **Módulo reproducción de audio monofásico** **Reproducción de audio**



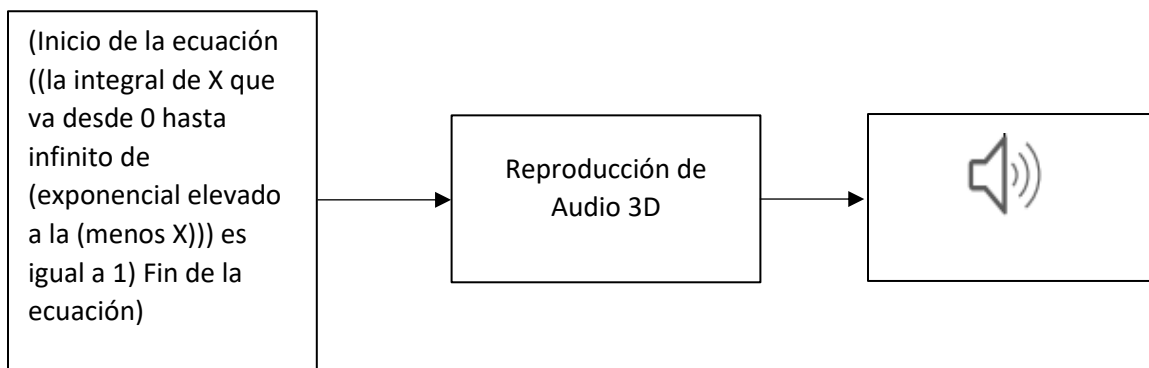
En la Figura 18, se observa la entrada y salida del módulo reproducción del audio monofásico con Earcons y Spearcons en este módulo se reproduce el archivo .txt que contiene inicio de la ecuación y fin de la ecuación a más de los pitidos agregados con diferentes frecuencias según sea la jerarquía de los caracteres de la ecuación. Se genera un archivo .mp3 el cual es guardado para su posterior transformación en Audio 3D.

Figura 19

Diagrama de la reproducción del Audio 3D con Earcons y Spearcons.

Reproducción de Audio 3D con Earcons y Spearcons.

Archivo de Texto con Earcons y Spearcons **Módulo Reproducción de audio 3D** **Reproducción de Audio**



En la Figura 19. se representa el módulo de Audio 3D con Earcons y Spearcons. Este módulo es el encargado de transformar el audio monofásico con Earcons y Spearcons en Audio 3D, además se divide el archivo .mp3 en piezas de duración de 5s y se le otorga un grado para su posterior grabación, con esto el nuevo archivo .mp3 presentado se graba en 360 grados lo que permite obtener el Audio 3D, para esto se utilizan la librería AudioSegment. En el Anexo B se puede observar la ejecución del software matemático mostrando en rectángulos azules y el funcionamiento de cada botón de la interfaz gráfica. Además, se utiliza la librería `from math import*` para importar todas las funciones matemáticas.

Para la generación del audio 3D se utiliza la librería Pydub la cual tiene la capacidad de convertir y reproducir audio. Este módulo de Python 3.0 tiene la característica de permitir la realización de operaciones de conversión de formato y la reproducción de diferentes ficheros de audio, el mencionado módulo de manera directa permite trabajar con ficheros que se encuentren en formato .WAV, por lo cual, si se tiene ficheros como mp3, ogg, se necesita del uso de los módulos ffmpeg o libav (Jota, 2017).

Capítulo IV

Metodología experimental

En este capítulo se describe de manera detallada como se realizaron las pruebas con el software matemático enfocado a personas no videntes el mismo que fue explicado a detalle en el capítulo 3. El objetivo principal del presente capítulo es explicar el procedimiento realizado para ejecutar las pruebas de funcionamiento del software matemático, para obtener resultados sobre la experiencia de uso por parte de las personas no videntes enfocándose en la facilidad de expresión de la bidimensionalidad utilizando Earcons y Spearcons junto al audio 3D. El desarrollo del software matemático fue realizado mediante el uso de varios programas, funciones y aplicaciones, las mismas que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Tabla de los módulos, sistemas y librerías de Python 3.0 utilizadas en el desarrollo del software matemático.

	Nombre	Versión
Software de desarrollo	Python	3.8
Librería desarrollada por externos	Text-to-speech	1.0
Librería desarrollada por externos	TexToEs	-----
Sintetizador de voz	Microsoft Raúl y Sabina	Febrero 2021
Librería Desarrollada por externos	Python-mathpix 0.4	Junio 2019
Librería Desarrollada por externos	Latex2Mathml	2020

Grupo de pruebas

El desarrollo del proyecto de investigación en su parte práctica se encuentra desarrollado para estudiantes con discapacidad visual leve, moderada y grave los cuales se encuentran cursando sus estudios en instituciones de educación básica, bachillerato o estudiantes universitarios. Las instituciones a las cuales pertenecen los estudiantes participes del proyecto son instituciones públicas y privadas que los acogieron con sus

limitaciones visuales, para brindarles un apoyo en su formación académica otorgándoles sus derechos a recibir una educación digna e inclusiva.

Planteamiento para la ejecución de pruebas prácticas con personas no videntes.

Con el fin de realizar las pruebas con el software matemático creado, se desarrolló un total de 70 expresiones matemáticas las cuales sirvieron como ejemplos. Estas 70 expresiones matemáticas comprenden ejemplos de un nivel básico, medio y avanzado. Según la persona con la cual se desarrolló la prueba se utilizaron una serie de 10 ejemplos que se encuentren en su entorno de formación académica. El total de la base de datos que conforman los ejemplos se los desarrollaron basándose en todos los niveles académicos en los cuales se encuentran las personas no videntes que accedieron a participar con la fase de pruebas del presente proyecto de investigación. La base de datos se conformó según los temas que son tratados en cada nivel de educación estipulados por el Ministerio de Educación y el pènsum académico que se debe cumplir según cada año de educación, básica, bachillerato o universitaria. La mencionada base de datos se la observa en el Anexo A y se la realiza a partir de los ejemplos utilizados en la tesis del señor Hernán Domínguez (Dominguez, 2018).

Para probar la aplicación desarrollada en este trabajo de titulación se contactó de manera directa con las personas no videntes y sus representantes, los mismos que se encuentran dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Para poder mantener reuniones presenciales de ser el caso, se dio una breve explicación del funcionamiento del programa de manera general, se preguntó y solicitó directamente la autorización a las personas no videntes para saber si les gustaría realizar las pruebas y en los casos de que las mismas eran menores de edad se solicitó la autorización a sus representantes legales, como madres, padres o hermanos. Debido a la situación actual que vive el mundo al momento de la ejecución de este proyecto académico por la COVID-19, las pruebas se realizaron en los hogares de cada persona no vidente que accedió a participar en el presente proyecto de investigación, teniendo en consideración todas las medidas de bioseguridad en los respectivos hogares se desarrollaron los siguientes puntos para ejecutar los ensayos:

1. Se ingresó a los domicilios de las personas no videntes con trajes de bioseguridad y las herramientas necesarias para realizar las pruebas del proyecto de investigación.
2. Al llegar a los domicilios de las personas que accedieron a colaborar con el proyecto de investigación se entablaron conversaciones con los representantes de las

personas no videntes según sea el caso y los no videntes. En esta conversación se abordaron temas de presentación, para generar confianza y credibilidad en los ensayos posterior a realizar. Además de consultar el nivel académico por el que cruzan, los conocimientos con los cuales cuentan y verificar si en las instituciones a las cuales pertenecen les brindan una educación inclusiva, se realizaron una serie de preguntas basadas en la educación que reciben, sus aspiraciones y sueños a futuro en el ámbito académico. Se continuo con la explicación del software matemático diseñado, sus beneficios y los resultados que se pretenden obtener al crearlo. Finalmente se contestaron las preguntas e inquietudes con las cuales contaban las personas no videntes participes del proyecto de investigación.

3. Durante todo el proceso se mantuvieron los protocolos de bioseguridad desinfectando el área designada para las pruebas por parte de las personas no videntes o sus familiares, además de desinfectar los auriculares tipo diadema a ser utilizados para los ensayos. La mayoría de partícipes del proyecto contaban con auriculares propios para realizar las pruebas, caso contrario se les otorgaba auriculares tipo diadema.

4. Al iniciar las pruebas y luego de la explicación se consultó a las personas no videntes si habían escuchado o conocían el significado de Audio 3D en conjunto con Earcons y Spearcons y las características de estos.

5. Utilizando el software diseñado se preguntó cuál es su canción favorita la misma que fue transformada en Audio 3D y posteriormente era escuchada por las personas no videntes mostrándoles de manera práctica lo que es un audio 3D y demostrando la funcionalidad de una parte del software matemático diseñado. Esto generó un interés por las personas no videntes en la aplicación y la utilidad del proyecto de titulación, con esto las personas no videntes se familiarizaron con el significado de Audio 3D en conjunto con Earcons y Spearcons.

6. Se explicó de manera resumida el concepto de Earcons y Spearcons, la mezcla de estos con el audio 3D para transmitir de una manera más clara y novedosa la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos, enfocándose en el aprendizaje en el área de las ciencias exactas.

7. Se analizó con las personas no videntes de manera detallada cada bloque que conforma la aplicación diseñada, para que comprendan su funcionamiento y su alcance además de las ventajas que esta aplicación les puede brindar en sus estudios académicos.

8. El inicio de las pruebas se realizó con ecuaciones básicas como sumas y restas para familiarizar el uso de la aplicación y la comprensión de las expresiones matemáticas por parte de las personas no videntes. Luego de estas pruebas base se procedió con la ejecución de los ejemplos de acuerdo a su nivel educativo.

9. Se realizaron 10 ejemplos con cada participante no vidente, los cuales se encontraron focalizados según sea el nivel académico y los conocimientos que presentó cada participante durante la entrevista de familiarización, la ejecución de los audios se realizó con el siguiente esquema. Primero se reprodujo el audio monofásico, segundo el audio monofásico con Earcons y Spearcons y finalmente el audio 3D con Earcons y Spearcons. Estos audios eran escuchados el número de veces que los entrevistados deseaban hasta que se decidían a transcribir en una hoja la ecuación que escuchaban con cada uno de los audios, estas pruebas se las pueden observar en el Anexo F.

10. Finalizando la ejecución de los ejemplos y obteniendo los datos para la tabulación, se procedió a realizar una encuesta sobre la experiencia de las personas no videntes con el software matemático diseñado y la acogida que ellos le dan para ser aplicado en educación básica, bachillerato y universitario, sobre todo conocer si el audio 3D con Earcons y Spearcons les facilita entender la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos de una manera más clara que el audio monofásico.

11. Posterior a conocer los datos otorgados en la encuesta final, las personas no videntes además de sus tutores mostraron gran interés por saber la evolución de la aplicación diseñada y como puede ayudarles de una manera más amplia con siguientes versiones, ya que comentaron que aunque el Ministerio de Educación señala que en el país existe una educación inclusiva, bajo su criterio existen muchos parámetros a mejorar y explotar recursos tecnológicos para impulsar la calidad de educación que reciben.

12. El procedimiento se repite con todas las personas que accedieron a colaborar en el proyecto y se realizaron las entrevistas de manera presencial.

Además de las pruebas realizadas de manera presencial se desarrollaron pruebas utilizando plataformas digitales con personas no videntes que mostraron interés en ayudar con la toma de datos de la parte práctica del software matemático creado. Este grupo de personas no videntes mostró un gran manejo de la computadora y del teléfono celular para poder comunicarnos y ejecutar los ejemplos diseñados según su nivel de educación. Para este grupo de participantes del proyecto de investigación se realizaron los siguientes pasos:

1. El día y la hora acordados se procedió a remitir un enlace de Google Meet para realizar la reunión.
2. Al iniciar la reunión se procedió con una conversación en la cual se abordaron temas de presentación, para generar confianza y credibilidad en las pruebas posterior a realiza. Se consultó el nivel académico por el que cruzan, los conocimientos con los que cuentan y si en las instituciones a las cuales pertenecen les brindan una educación inclusiva. Luego de una serie de cuestiones basadas en la educación que perciben, sus aspiraciones y sueños a futuro en el ámbito académico se continuó con la explicación del software matemático diseñado, sus beneficios y los resultados que se pretenden obtener al crearlo, y se contestó las preguntas e inquietudes con las cuales contaban las personas no videntes participantes del proyecto de investigación.
3. Al iniciar las pruebas y luego de la explicación se les consultó a las personas no videntes si habían escuchado o conocían el significado de Audio 3D en conjunto Earcons y Spearcons y las características de estos.
4. Utilizando el software diseñado se les preguntó cuál es su canción favorita la misma que fue transformada en Audio 3D y posteriormente era escuchada por las personas no videntes mostrándoles de manera práctica lo que es un audio 3D y demostrando la funcionalidad de una parte del software matemático diseñado, además de generar un interés por las personas no videntes en la aplicación y utilidad del proyecto de titulación, con esto las personas no videntes se familiarizaban con el significado de Audio 3D en conjunto con Earcons y Spearcons.
5. Se explicó de manera resumida el concepto de Earcons y Spearcons, la mezcla de estos con el audio 3D para transmitir de una manera más clara y novedosa la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos, enfocándose en el aprendizaje en el área de las ciencias exactas.
6. Se analizó con las personas no videntes de manera detallada cada bloque que conforma la aplicación diseñada, para que comprendan su funcionamiento y su alcance además de las ventajas que esta aplicación les puede brindar en sus estudios académicos.
7. El inicio de las pruebas se la realizó con ecuaciones básicas como sumas y restas para familiarizar el uso de la aplicación y la comprensión de las expresiones matemáticas por parte de las personas no videntes, luego de estas pruebas base se procedió con la ejecución de los ejemplos de acuerdo a su nivel educativo.

8. Se realizaron 10 ejemplos con cada participante no vidente, los cuales se encontraron focalizados según sea el nivel académico y los conocimientos que presentó cada participante durante la entrevista de familiarización, la ejecución de los audios se realizó con el siguiente esquema. Primero, se reprodujo el audio monofásico, segundo, el audio monofásico con Earcons y Spearcons y finalmente el audio 3D con Earcons y Spearcons. Estos audios eran escuchados el número de veces que los entrevistados deseaban hasta que se decidían a transcribir la ecuación que escuchaban con sus audios.
9. Finalizando la ejecución de los ejemplos y obteniendo los datos para la tabulación, se procedió a realizar una encuesta sobre la experiencia de las personas no videntes con el software matemático diseñado y la acogida que ellos le dan para ser aplicado en la educación básica, bachillerato y universitario, sobre todo conocer si el audio 3D con Earcons y Spearcons les facilita entender la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos de una manera más clara que el audio monofásico.
10. Posterior a conocer los datos otorgados en la encuesta final, las personas no videntes además de sus tutores mostraron gran interés por saber la evolución de la aplicación diseñada y como puede ayudarles de una manera más amplia con siguientes versiones, ya que comentaron que aunque el Ministerio de Educación señala que en el país existe una educación inclusiva, bajo su criterio existen muchos parámetros a mejorar y explotar recursos tecnológicos para impulsar la calidad de educación que reciben.
11. El procedimiento se repite con todas las personas que accedieron a colaborar con el proyecto y se realizaron las entrevistas utilizando una plataforma digital.

Nota 1. Las pruebas ejecutadas con el software matemático se las realizó con cinco personas no videntes las mismas que se encontraban en el rango de los 12 y 20 años de edad, los cuales cursan sus estudios académicos en instituciones públicas del Distrito Metropolitano de Quito. De los cinco participantes uno tiene 12 años y se encuentra en octavo grado de educación, tres de los otros participes de proyecto se encuentran entre 17 y 18 años de edad encontrándose en tercer curso de bachillerato y el último participante del proyecto tiene 20 años de edad y se encuentra en primer semestre de periodismo además de pertenecer al conservatorio nacional de Música.

Capítulo V

Análisis de resultados

En el presente capítulo se describe de manera detallada los resultados obtenidos luego de las pruebas realizadas con personas no videntes que experimentaron y probaron el programa matemático. Para este análisis se contabilizaron los resultados obtenidos al utilizar el software matemático y verificar si existe una mayor comprensión de los caracteres matemáticos utilizando audio 3D con Earcons y Spearcons. Con esto se obtuvieron los criterios necesarios para determinar si es factible esta alternativa de solución para la enseñanza de matemáticas a personas no videntes, facilitando el uso de tecnología para que los tutores videntes puedan desempeñar una mejor función en la educación de las personas no videntes.

Preguntas de la encuesta

La encuesta realizada a las personas no videntes que fueron participes de la ejecución del software matemático, incluyó preguntas enfocadas en su experiencia y comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos utilizando audio 3D con Earcons y Spearcons y comprender si este método de enseñanza de ecuaciones matemáticas les resultó útil generando una mayor comprensión que el audio monofásico.

Debido a que la encuesta se realizó con personas no videntes las preguntas de las mismas fueron expuestas y las respuestas se anotaron según su criterio y experiencia con el software matemático. Uno de los apartados más importantes de la encuesta se enfoca en el número de repeticiones que cada estudiante realiza para entender el ejemplo, estos resultados se muestran en la Tabla 2. Para que los ejemplos tengan un mismo nivel de datos de acorde a la complejidad del nivel de educación se decidió que cada ejemplo tenga el mismo número de caracteres. Es decir al participante que se encuentra en primer curso de educación básica se le dio una ecuación de primer grado la cual tenga entre sus números y símbolos un total de 12 componentes, del mismo modo al estudiante que se encuentra en la universidad se le puso un ejemplo de una ecuación de segundo grado con 12 componentes entre números y símbolos, y esto se realizó con todos los participantes del proyecto en los 10 ejemplos realizados con cada uno, variando el número de componentes en cada una de las 10 ecuaciones y su complejidad de acuerdo a su grado académico, pero manteniendo el número de caracteres entre ecuaciones como se puede observar en el Anexo E. La primera ecuación de cada

estudiante tiene un total de siete caracteres, la segunda ecuación tiene un total de doce caracteres, la tercera ecuación tiene un total de siete caracteres y así sucesivamente. La variación no se da en el número de caracteres si no en la complejidad de cada ecuación, por lo que cada ejemplo tiene el mismo número de caracteres. Las personas no videntes participes del proyecto fueron muy colaborativas en las pruebas realizadas y en la encuesta planteada además de mostrarse muy honestas en sus respuestas. Por lo cual se considera que los resultados obtenidos demuestran que al usar audio 3D con Earcons y Spearcons se brinda una nueva manera de aprender ecuaciones matemáticas a más de que el software matemático es una nueva herramienta tecnológica que puede brindarles apoyo de manera directa a las personas no videntes y sus tutores.

A continuación, se muestran los resultados y análisis de cada una de las preguntas realizadas de la encuesta y su influencia directa en los beneficios del proyecto de investigación.

Tabla 2

Tabla de resultados de las repeticiones necesarias de cada estudiante en los ejemplos presentados.

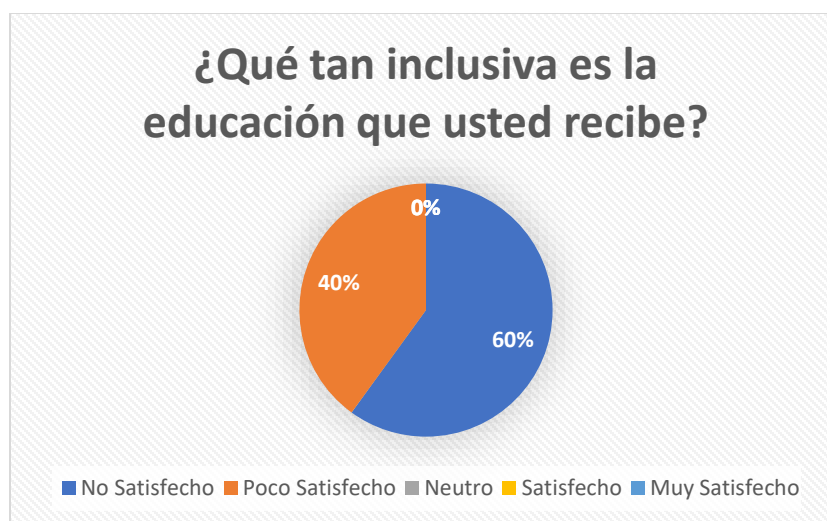
Ejemplo	Estudiante	Estudiante	Estudiante	Estudiante	Estudiante
	1	2	3	4	5
1	2	2	1	3	1
2	2	3	2	3	1
3	1	2	1	2	2
4	2	2	2	1	3
5	1	1	1	2	2
6	2	1	2	2	2
7	1	2	1	1	2
8	2	2	1	2	1
9	1	1	1	3	2
10	2	1	3	2	3
Promedio	1.6	1.7	1.5	2.1	1.9

La primera pregunta que se realizó en la encuesta, fue para conocer qué tan inclusiva es la educación que reciben o recibieron los estudiantes participes del proyecto

de investigación en cada una de las instituciones públicas y privadas a las cuales asistieron o asisten. Esto para conocer el grado de satisfacción académica que tienen las personas no videntes referente su formación académica.

Figura 20

Resultados de la primera pregunta de la encuesta.



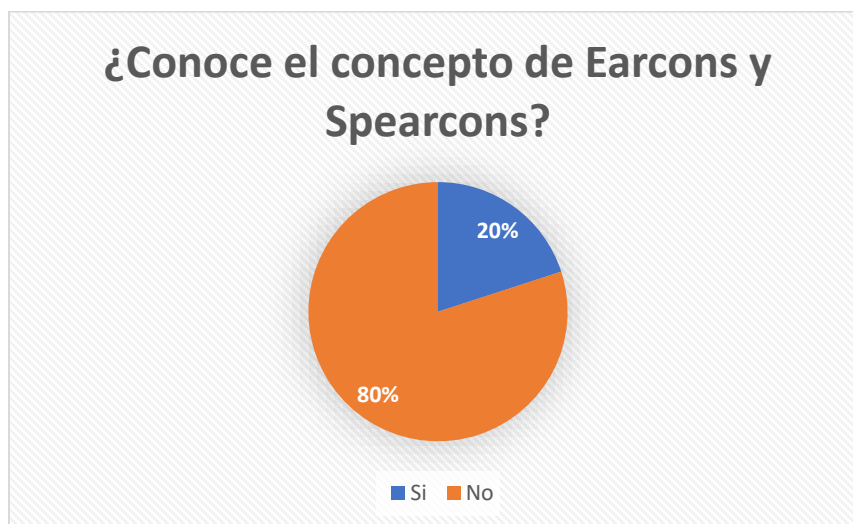
Se realizaron las pruebas con cinco personas no videntes que estuvieron prestas para colaborar en las mismas aún con las circunstancias adversas que presenta el COVID-19. En la Figura 20, se pueden observar los resultados obtenidos de la primera pregunta de la encuesta, dónde se puede observar que el 60 % de los encuestados se encuentra no satisfecho sobre la educación inclusiva que reciben, y el 40 % de los encuestados se encuentra poco satisfecho con la educación inclusiva que reciben. Estos resultados arrojan que las personas evaluadas en el presente proyecto no consideran a la educación que reciben de las instituciones públicas y privadas a las que pertenecen es inclusiva de acuerdo a sus necesidades. Sin embargo, se presentan casos puntuales con profesores que si les brindaron una educación inclusiva y equitativa con el resto de sus compañeros. Señalando que los mejores maestros en todos sus años de educación son sus padres y hermanos. Con estos resultados se puede determinar que la creación de software matemático inclusivo, ayudará de manera directa a la inclusión de personas no videntes en una educación de calidad, otorgándoles herramientas tecnológicas que se suman a las herramientas y procesos tradicionales que tienen para su aprendizaje.

La segunda pregunta fue enfocada en conocer si tenían algún concepto o idea referente a Earcons y Spearcons y las características de estos presentan para ayudar al

entendimiento de la bidimensionalidad de las ecuaciones matemáticas mediante audio. Esta pregunta se la desarrolló para conocer qué tan inmersos se encuentran los estudiantes no videntes en nuevas tecnologías diseñadas para mejorar su inclusión social en el ámbito académico.

Figura 21

Resultados de la segunda pregunta de la encuesta.



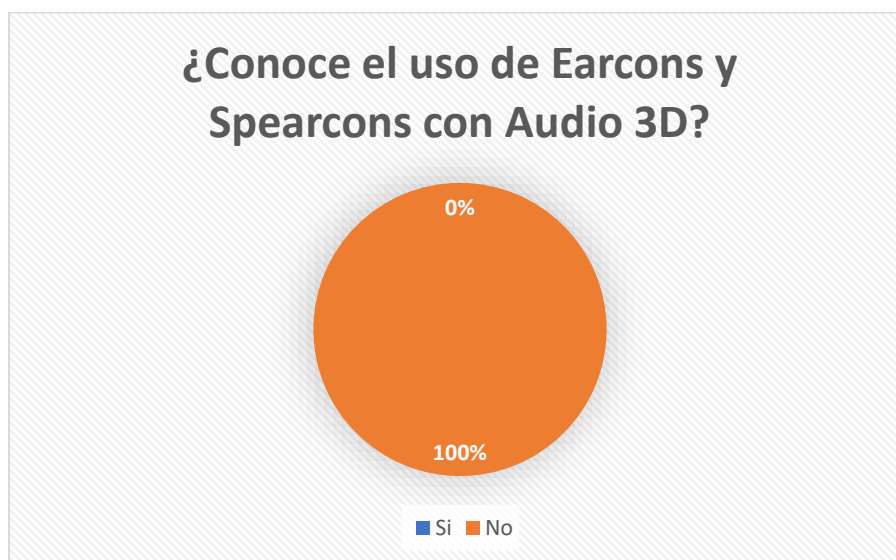
Los resultados obtenidos de la pregunta dos, indican que el 80 % de los encuestados no tienen conocimiento o han escuchado hablar de los conceptos de Earcons y Spearcons y solo el 20% de los encuestados tenían una leve idea de la funcionalidad y conceptos de Earcons y Spearcons, estas definiciones las conocía una de las 5 personas evaluadas y se debe a que estudia música y ha escuchado hablar de la variación de frecuencias, tonos y voces para mejorar la comprensión de sonidos. Por lo tanto, el uso de Earcons y Spearcons permitirá brindarles una herramienta tecnológica novedosa e inclusiva para su aplicación en el área de ciencias exactas u otras áreas de educación.

La tercera pregunta fue diseñada para conocer si las personas no videntes inmersas en este proyecto de investigación conocían la definición y funcionamiento de audio 3D al igual que Earcons y Spearcons. Audio 3D es una tecnología nueva y muy poco explotada, con esta pregunta se identificó el grado de conocimiento que manejan

las personas no videntes encuestadas en el uso de recursos tecnológicos para el fortalecimiento y factibilidad de mejorar sus conocimientos académicos.

Figura 22

Resultados de la tercera pregunta de la encuesta.



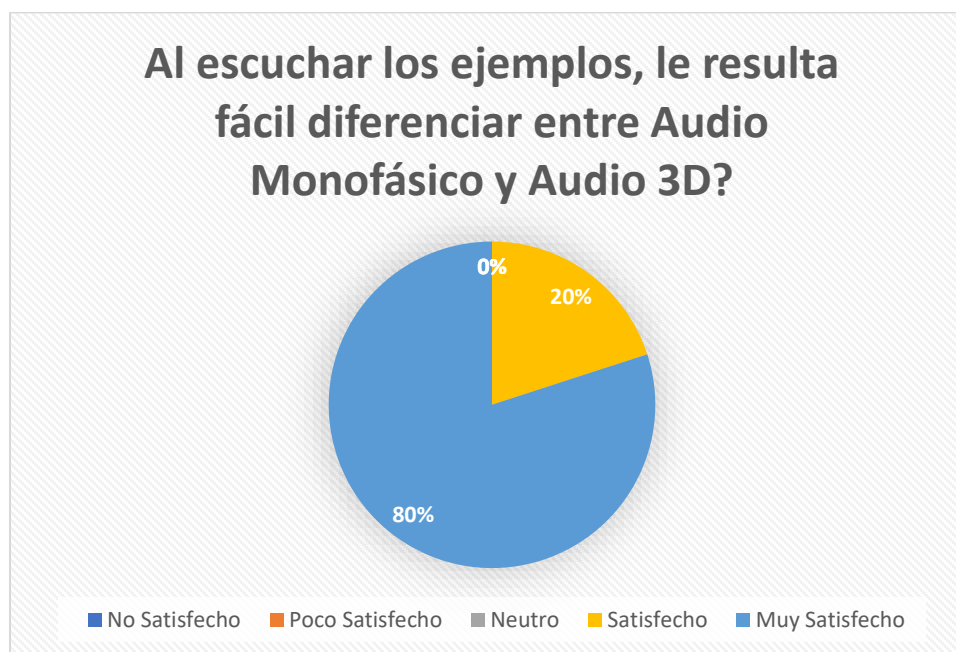
Los resultados arrojados en la pregunta 3, se observan en la Figura 22, indican que el 100% de los encuestados tienen desconocimiento de los beneficios y conceptos que tiene el audio 3D con Earcons y Spearcons. Para demostrarles el funcionamiento del audio 3D con Earcons y Spearcons se procedió a consultarles cuál es su canción favorita la misma que posteriormente se procedió a buscarla y tenerla en formato MP3, para ser transformada a audio 3D con Earcons y Spearcons, este procedimiento fue el más fuerte en la ejecución de pruebas debido a que al escuchar la canción de su preferencia en el formato mencionado se captó de manera inmediata el interés de parte de los encuestados para continuar con las pruebas. Esto indica que al ser una forma novedosa de reproducir audio capta la atención e interés más rápido por parte de los usuarios. Con estos resultados obtenidos se determina que el uso de audio 3D con Earcons y Spearcons brindará una herramienta tecnológica agradable y llamativa para las personas no videntes, facilitándoles el aprendizaje en el área de ciencias exactas.

La cuarta pregunta fue enfocada en conocer si al escuchar los ejemplos les resultó fácil diferenciar entre audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons, esta pregunta se la realizó con la finalidad de verificar que las personas participes de la

evaluación y fase de pruebas de la parte práctica de la aplicación tienen claro el funcionamiento y la diferencia entre los audios presentados en las pruebas.

Figura 23

Resultados de la cuarta pregunta de la encuesta.

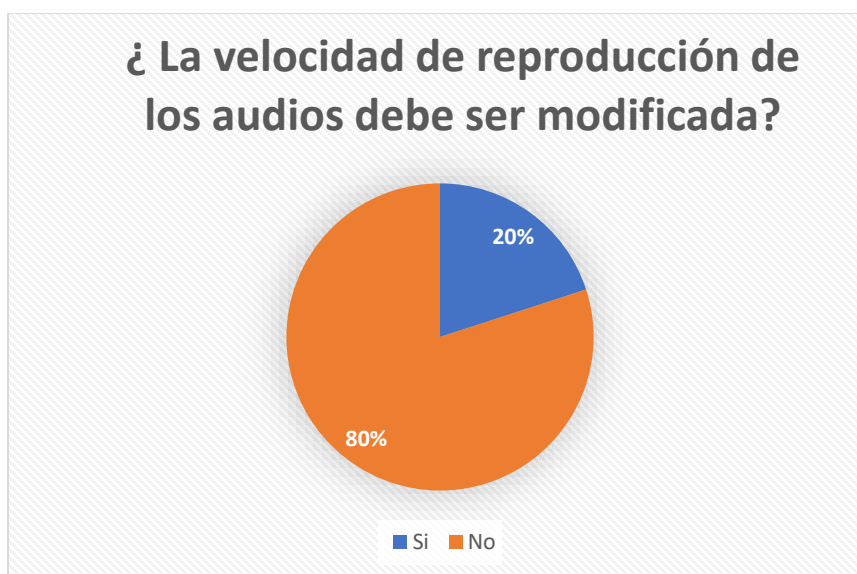


Cómo se observa en la Figura 23, el 80% de los encuestados les resulta fácil diferenciar entre audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons y solo el 20% de los encuestados no pudieron diferenciar de manera clara entre audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons. Estos resultados indican que el audio 3D con Earcons y Spearcons es fácil de percibir por parte de los usuarios sobre todo para captar su atención y con esto transmitir de una manera más concisa la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos de las ecuaciones. El 20% representa a un estudiante participe del proyecto y manifestó que le resultó difícil diferenciar el audio debido a que no gusta utilizar los dos auriculares, se le explicó que para comprender el audio 3D con Earcons y Spearcons es meramente necesario la utilización de ambos auriculares.

La pregunta cinco, fue enfocada en conocer si la velocidad de reproducción de los audios facilitaba de manera directa la comprensión de las ecuaciones matemáticas utilizadas en cada caso, y con esto saber si necesita reducir o aumentar la velocidad repercute de manera directa en la comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos.

Figura 24

Resultados de la quinta pregunta de la encuesta.

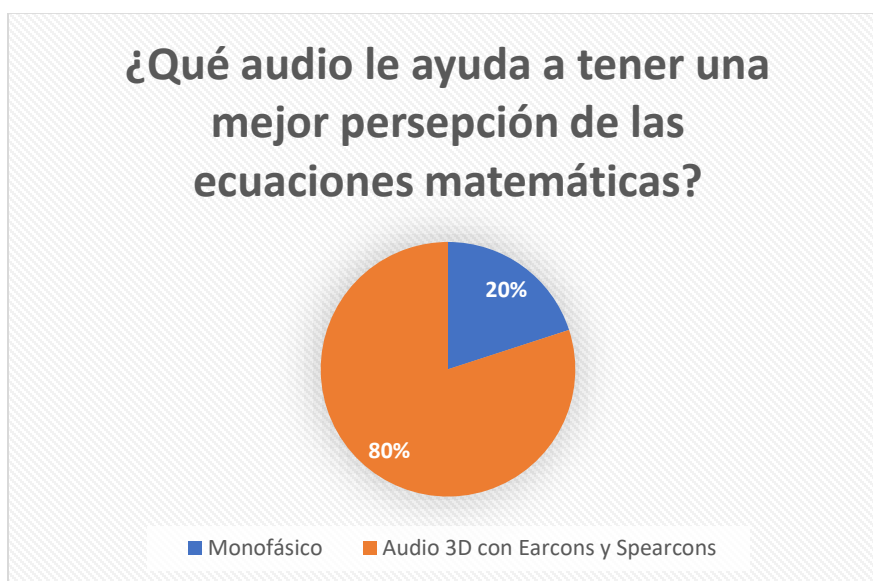


En la Figura 24, se observa los resultados arrojados en la quinta pregunta de la encuesta donde se puede observar que el 80% de los encuestados indican que la velocidad de reproducción del Audio 3D con Earcons y Spearcons es la idónea. Sin embargo, el 20% de los encuestados indican que la velocidad no es apropiada, acotando que la reproducción debe ser más rápida ya que al aumentar la velocidad se tiene una mejor percepción de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos que ofrece el audio 3D con Earcons y Spearcons, además de impulsar la concentración para realizar la transcripción de los caracteres de las ecuaciones matemáticas. Con esto se determina que las personas no videntes en su mayoría cuentan con sus sentidos desarrollados de una manera más aguada, además de que la velocidad de reproducción de los audios ejecutados fue idónea para su comprensión, indicando que la velocidad con que el software matemático reproduce los audios es idónea y apta para la comprensión por parte de las personas no videntes.

La pregunta seis, fue enfocada en conocer el audio de preferencia de las personas no videntes participes, para esto se les presentó en las pruebas audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons, con esto se buscó conocer la satisfacción que tuvieron las personas no videntes participes del proyecto en conocer y realizar pruebas con Audio 3D con Earcons y Spearcons.

Figura 25

Resultados de la sexta pregunta de la encuesta.



En la Figura 25, se observan los resultados obtenidos al tabular los datos de la encuesta referente a la pregunta 6, donde se puede observar que las personas no videntes participes del proyecto en un 80% manifestaron que el audio 3D con Earcons y Spearcons les ayuda a tener una mejor percepción de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos. Con estos resultados obtenidos se puede aseverar que el audio 3D con Earcons y Spearcons les brinda una herramienta tecnológica a las personas no videntes para facilitar la comprensión y entendimiento de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos. Además, estos resultados demuestran el cumplimiento de los objetivos del proyecto de investigación.

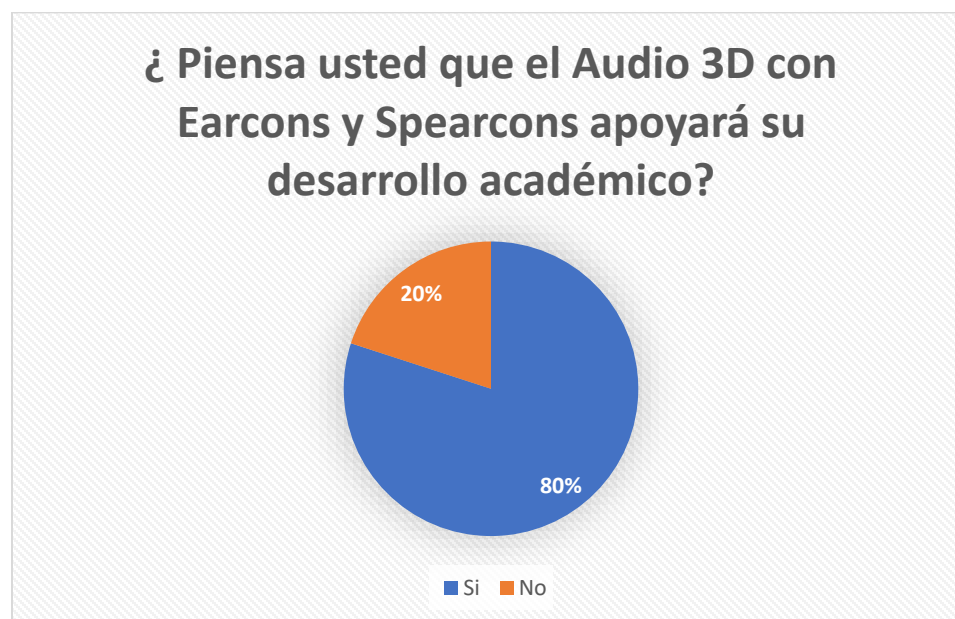
La séptima pregunta fue enfocada en determinar el número de repeticiones necesarias por los participantes no videntes de las pruebas para entender de manera clara los ejemplos expuestos y con esto determinar qué tan comprensible y fácil les resulta entender el movimiento del audio en el audio 3D con Earcons y Spearcons. Los datos arrojados de esta pregunta se muestran en la Tabla 2.

La octava pregunta, fue enfocada en conocer si el audio 3D con Earcons y Spearcons les ayudará de manera directa a mejorar la comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres de las ecuaciones matemáticas, y con esto conocer

que tan factible es la implementación de Audio 3D con Earcons y Spearcons como una herramienta de enseñanza enfocada en el área de ciencias exactas.

Figura 26

Resultados de la octava pregunta de la encuesta.

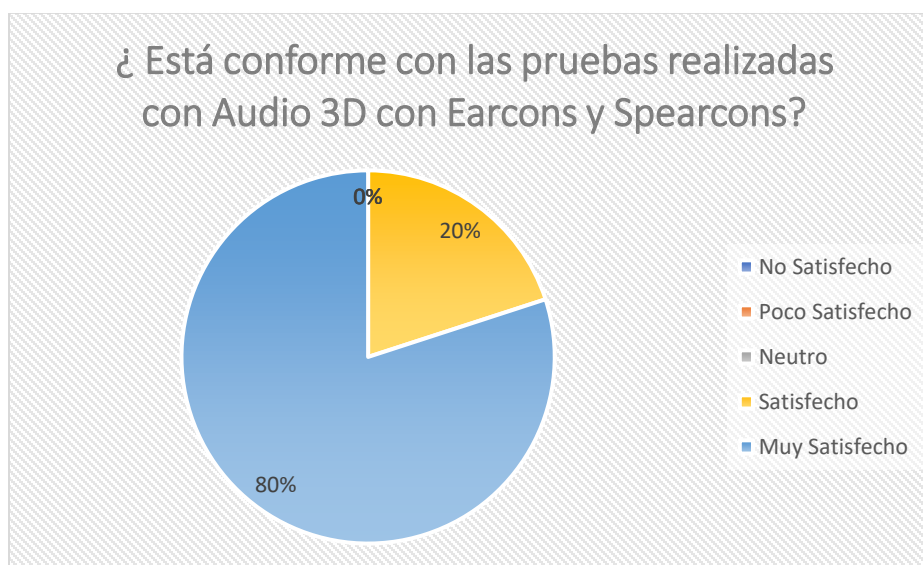


La Figura 22 muestra los resultados arrojados por la pregunta 8 de la encuesta dónde se busca conocer cuál es el pensamiento de los participantes del proyecto sobre la influencia que puede llegar a tener el audio 3D con Earcons y Spearcons en su formación académica. Como resultado, el 80% de los estudiantes piensan que el audio 3D con Earcons y Spearcons ayudará de manera directa a su formación académica y el 20% indica que no ayudará de manera directa a su formación académica esto debido a que los dispositivos como teléfonos celulares, tablets y computadoras no pueden reproducir audio 3D sin la necesidad del uso auriculares y el transportar los mismos puede resultar un inconveniente. Sin embargo, el 80% indicó que el uso de auriculares es cotidiano y no ven a esto como una limitación para utilizar el software matemático diseñado como una herramienta de aprendizaje moderna, novedosa y útil.

La novena pregunta se la realizó para medir el nivel de conformidad que tuvieron las personas no videntes con las pruebas realizadas, y con esto obtener resultados sobre la factibilidad y aceptación del software matemático diseñado y conocer cuáles son los aspectos a mejorar en el software matemático además de sugerencias para fortalecer su funcionamiento.

Figura 27

Resultados de la novena pregunta de la encuesta.



En la Figura 27, se observan los resultados arrojados en la pregunta 9 los cuales indican que los participantes de la ejecución de pruebas se encuentran conformes con las pruebas realizadas con audio 3D con Earcons y Spearcons, esto debido a que los ejemplos realizados se encontraban dentro de su nivel académico a más de que el uso de Earcons y Spearcons en conjunto con audio 3D ayuda a captar de una mejor manera la atención y apreciar la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos facilitando su transcripción.

Las personas no videntes participes de esta serie de pruebas y sus tutores indicaron que esta herramienta matemática se la puede aplicar sobre todo con personas que inicien sus estudios debido a que por ser una herramienta novedosa su uso será ampliamente acogido.

La pregunta 10, tiene como finalidad conocer si los estudiantes no videntes participes del proyecto les gustaría seguir formando parte de próximos proyectos enfocados en generar herramientas matemáticas para ayudar a personas no videntes a tener una mejor comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos utilizando audio ya sea este monofásico o 3D con Earcons y Spearcons, además de seguir contribuyendo de manera directa en el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas para personas videntes y no videntes enfocándose en el área de ciencias exactas.

Figura 28

Resultados de la décima pregunta de la encuesta.



La pregunta 10, se desarrolló con el objetivo de conocer si las personas participantes en la parte de pruebas de este proyecto les gustaría relacionarse en futuros proyectos que tengan una tónica similar. Como se observa en la Figura 28 el 100% de los encuestados indican que, si les gustaría continuar con futuros proyectos, esto debido a que este tipo de proyectos puede ayudar a fomentar una educación más inclusiva para futuras generaciones brindándoles soluciones tecnológicas y ellos desean ser partícipes directos para la creación de estas futuras herramientas tecnológicas.

Resultados de los ejemplos realizados.

Se procedió a evaluar y cuantificar los resultados obtenidos en la transcripción de los caracteres de las ecuaciones matemáticas por parte de los estudiantes no videntes. Se evaluó el número de elementos correctos e incorrectos transcritos que componen la ecuación escuchada por parte de las personas no videntes, con el fin de obtener el porcentaje de aciertos de las ecuaciones matemáticas utilizadas como ejemplos, con esto se evaluó el porcentaje de entendimiento de los caracteres de las ecuaciones matemáticas en audio Monofásico y en audio 3D con Earcons y Spearcons.

La forma de evaluar la transcripción de las ecuaciones matemáticas por parte de los estudiantes no videntes en los ejemplos planteados, fue contabilizando el número de elementos que compone cada una de las ecuaciones y asignándole el porcentaje de

100% para el número de caracteres de cada ecuación con esto se puede contabilizar el número de aciertos y errores, logrando así formar tablas con el porcentaje de aciertos en audio monofásico y en audio 3D con Earcons y Spearcons. Estos resultados se pueden observar a detalle en el Anexo E, y los resultados resumidos por estudiante en Audio Monofásico y en Audio 3D con Earcons y Spearcons se los puede observar en la Tabla 3, la cual es un resumen del Anexo E, el mismo que muestra los resultados obtenidos por estudiante.

Tabla 3

Tabla de aciertos de la transcripción de los ejemplos de las ecuaciones matemáticas en audio monofásico y audio 3D con Earcons y Spearcons.

Estudiante	Audio Monofásico	Audio 3D con Earcons y Spearcons
1	78.35%	80.4%
2	84.3%	87.9%
3	80.4%	82.4%
4	72.1%	74.2%
5	85.5%	76.28%

Los resultados mostrados en la tabla 3, indican que el uso de audio 3D con Earcons y Spearcons, les brinda a las personas no videntes una mayor comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos. Esta aseveración se da debido a que cuatro de los cinco alumnos tuvieron un porcentaje mayor de acierto con audio 3D con Earcons y Spearcons a diferencia del audio tradicional. El único participante del proyecto en el que el resultado favoreció al audio tradicional se debe a que el participante del proyecto sentía molestias en utilizar los auriculares tradicionales y tipo diadema y realizó las pruebas solo utilizando un auricular.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó un software matemático el cual llevaba a cabo la captura y reproducción de ecuaciones matemáticas utilizando audio 3D con Earcons y Spearcons, para facilitar la comprensión de la bidimensionalidad de los caracteres matemáticos por parte de personas no videntes.

Es importante que las personas no videntes tengan un conocimiento básico sobre el uso de computadoras para la utilización del software matemático o la ayuda de un tutor vidente el cual tenga conocimientos de computación, para describir caracteres matemáticos, las personas no videntes lo realizar mediante el uso lenguaje Braille.

El software matemático desarrollado puede ser utilizado por personas videntes y no videntes esto debido a lo novedoso del sistema y sobre todo que el uso de la tecnología en la educación está en auge y en constante crecimiento.

Las personas no videntes tienden a pedir varias repeticiones para estar seguros de lo que captaron y escribieron por lo cual el archivo .mp3 que entrega el software matemático se lo puede reproducir tanto en dispositivos móviles como en computadoras, con lo cual las personas no videntes pueden reproducirlo, pararlo o adelantarlos según sea su necesidad utilizando sus dispositivos electrónicos.

La implementación de Earcons y Spearcons para generar pitidos al inicio, final y cada separación jerárquica de la ecuación ayudó a los participantes no videntes del proyecto a tener una mayor concentración en los ejemplos realizados además de captar su atención en todo momento en el cual se reprodujo el audio, demostrando que el software matemático es útil para conseguir la atención de los usuarios y poder comunicar la bidimensionalidad de las ecuaciones matemáticas mediante Audio 3D con Earcons y Spearcons.

Los estudiantes no videntes participantes del proyecto se encontraban en niveles de educación acorde a su edad, facilitando la realización de las pruebas con los ejemplos planteados basándonos en los temas a tratar por año de educación según el Ministerio de Educación del Ecuador.

Los estudiantes no videntes mostraron gran entusiasmo e interés al momento de realizar las pruebas obteniendo porcentajes altos en los ejemplos planteados, esto se debe directamente a su predisposición para colaborar en el proyecto de investigación, así como lo novedoso del audio 3D con Earcons y Spearcons para estudiar la cátedra de ciencias exactas.

Recomendaciones y Trabajos Futuros

El uso de audífonos tipo diadema ayuda a disminuir el ruido exterior por lo cual se recomienda el uso de los mismos, para tener una mejor experiencia al utilizar Audio 3D con Earcons y Spearcons.

Referente a los trabajos futuros se acota lo siguiente:

Realizar el software matemático para que su ejecución sea la realice a través de dispositivos móviles como teléfonos celulares y tablets, esto debido al constante crecimiento que estos tienen en el mundo a más de que son dispositivos de uso cotidiano.

Implementar comandos de voz para la ejecución del software matemático con la finalidad de que las personas no videntes puedan tener un control más óptimo de todas las funciones que el sistema ofrece.

Añadir teclas de acceso directo para reducir y aumentar la velocidad de reproducción de audio, esto para que el usuario no vidente reproduzca el audio con la velocidad de preferencia.

Utilizar voces de madres, padres, hermanos o tutores para la reproducción de audio esto con la finalidad de generar un mayor interés por parte de las personas no videntes, así como una motivación para utilizar el software matemático y fortalecer sus conocimientos en el área de ciencias exactas.

En la interfaz del software matemático se debe agregar un botón el cual permita subir y bajar la velocidad de reproducción del audio esto para que los usuarios puedan reproducir el audio 3D con Earcons y Spearcons a la velocidad de su preferencia.

Diseñar e implementar aplicaciones que exploten a mayor profundidad las características de Earcons y Spearcons, y los beneficios que estos pueden traer en el campo educativo, brindando herramientas útiles y tecnológicas para el desarrollo de personas videntes y no videntes.

Bibliografía

- Bringer, S. (2013). *Developing Navigation HRTF-Based Audio Game for People with Visual Impairments*.
- Coral, E. P. (2013). *DISEÑO DE MATERIAL DIDÁCTICO EN ALTO RELIEVE APLICABLES*. A. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Dominguez, H. (2018, Agosto 1). Desarrollo de una aplicación orientada a personas no videntes para brindar accesibilidad a expresiones matemáticas mediante la utilización de audio tridimensional. Sangolquí, Mejía, Pichincha.
- FENCE. (2017). *fenceecuador.org*. Retrieved from Federación Nacional de Ciegos del Ecuador: <http://fenceecuador.org/>
- Gardner, W. (1990, March 15). 3D Audio and Acoustic Environment Modeling. 99 *Massachusetts Avenue, Suite 7*, pp. 1-9.
- Herrera, S., Perez, S., & Echeita, G. (2016). *Teorías Implícitas y Prácticas de Enseñanza que Promueven la Inclusión Educativa en la Universidad: Instrumentos y Antecedentes para la Reflexión y Discusión, Formación Universitaria*.
- INEC. (2013, Abril). *Compendio Estadístico*. Retrieved from Instituto nacional de estadísticas y censos: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/compendio-estadistico/>
- INEC. (2013). *Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)*. Ecuador.
- Jota. (2017, Abril 2). *El array de Jota*. Retrieved from Probando pydub para convertir y reproducir audio: <https://www.elarraydejota.com/probando-pydub-para-convertir-y-reproducir-audio/>
- Lee, F., Yeung, A., & Barker, K. (2015). *Inclusion of children with special needs in early childhood education: What teacher characteristics matter, Topics in Early Childhood Special Education*.

- Li, S., Tang, T., Hickling, A., Yau, S., Brecknell, B., & Sanderson, P. (2017). Spearcons for Patient Monitoring: Laboratory. *Human Factors: The Journal of the human factors and Ergonomics Society*, 765-781.
- Loayza, M. (2016, Agosto 23). Investigación de un sistema electrónico con detección de obstáculos para personas no videntes. Latacunga, Cotopaxi.
- Mathpix. (2019, Junio 20). *Python Software Foundation*. Retrieved from Python-Mathpix 0.4: <https://pypi.org/project/python-mathpix/>
- Matinez, I., & Liebana Delfina. (2004). GUÍA DIDÁCTICA. In O. N. (ONCE), *Guía didáctica para la lectoescritura braille* (p. 90). Madrid.
- MDN. (2013). *Referencia de MathML*. Retrieved from Redacción de MathML: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/MathML/Authoring>
- Miner, R. (2005). The Importance of MathML to Mathematics Communication. In R. Miner, *NOTICES OF THE AMS* (pp. 1-7).
- Mittlebach, F., Braams, J., Rowley, C., & Rahtz, S. (2018, Marzo 21). *The Latex Project*. Retrieved from The Latex Project: <https://www.latex-project.org/>
- Navarro, J. (2021, 06 30). *Acústica y sonido*. Retrieved from e <http://acusticaysonido.com/?p=315>
- OMS. (2019, Octubre 9). *Organización Mundial de la Salud*. Retrieved from La OMS presenta el primer informe mundial sobre la visión: <https://www.who.int/es/news/item/08-10-2019-who-launches-first-world-report-on-vision>
- Planificación, S. N. (2018, Septiembre). *Planificación.gob.ec*. Retrieved from Plan Nacional en Braille: <https://www.planificacion.gob.ec/personas-no-videntes-recibieron-plan-nacional-en-braille/>
- Python. (2021). *Python Docs*. Retrieved from Python Community: <https://www.python.org/>
- Rosado, I., Ortega, J., Medranda, E., & Basurto, E. (2018). Teaching resilience to people with Visual Disabilities. *International Research Journal of Management, IT and Social Sciences (IRJMIS)*, 36-44.

- Saad, M. (2010). *El sistema braille*. Divulgación:
<https://www.uaq.mx/ingenieria/publicaciones/eure-uaq/n13/en1307.pdf>.
- Sacco, A. (2004).
<https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/865/868/5137.pdf>.
- Sanchez, J., & Flores, H. (2004). *Audio Math: Blind children learning mathematics through audio*. Chile, Santiago.
- Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una vida*. Quito-Ecuador.
- Thur, L. (2016). *Una propuesta de accesibilidad en expresiones matemáticas para la comunidad de ciegos y disminuidas visuales*. Córdoba.
- W3C. (2021, 05 18). *W3C Math Home*. Retrieved from What is MATHML:
<https://www.w3.org/Math/>
- Wang. (2007). *Segmento de audio*. Retrieved from Módulo de segmento de audio:
<https://audiosegment.readthedocs.io/en/latest/audiosegment.html>

Anexos