



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE COMPUTACIÓN

**SISTEMA TRADUCTOR A LENGUAJE DE SEÑAS PARA REDUCIR LA
DIFICULTAD DE COMUNICACIÓN EN PERSONAS CON
DISCAPACIDAD AUDITIVA EN ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros en Ciencias de la Computación

**AUTORES: VICTOR EDUARDO CAICEDO VALLEJO
JEFFERSON ANDRÉS CAJAS PICHUCHO
TUTOR: DIEGO FERNANDO VALLEJO HUANGA**

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Victor Eduardo Caicedo Vallejo con documento de identificación N.º 0401679303 y Jefferson Andrés Cajas Pichucho con documento de identificación N.º 1724124084; manifestamos que:

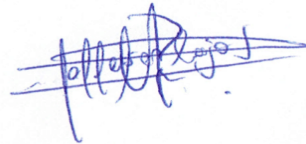
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de febrero del 2024

Atentamente,



Victor Eduardo Caicedo Vallejo
0401679303



Jefferson Andrés Cajas Pichucho
1724124084

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Victor Eduardo Caicedo Vallejo con documento de identificación No. 0401679303 y Jefferson Andrés Cajas Pichucho con documento de identificación No. 1724124084, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Sistema Traductor a Lenguaje de Señas para Reducir la Dificultad de Comunicación en Personas con Discapacidad Auditiva en Ecuador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Ciencias de la Computación, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

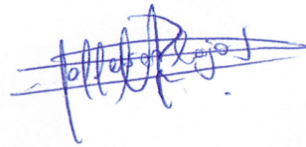
En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del 2024

Atentamente,



Victor Eduardo Caicedo Vallejo
0401679303



Jefferson Andrés Cajas Pichucho
1724124084

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Fernando Vallejo Huanga con documento de identificación N° 1720162708, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: SISTEMA TRADUCTOR A LENGUAJE DE SEÑAS PARA REDUCIR LA DIFICULTAD DE COMUNICACIÓN EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA EN ECUADOR, realizado por Victor Eduardo Caicedo Vallejo con documento de identificación No. 0401679303 y Jefferson Andrés Cajas Pichucho con documento de identificación No. 1724124084, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Diego Fernando Vallejo Huanga, MSc
1720162708

Sistema Traductor a Lenguaje de Señas para Reducir la Dificultad de Comunicación en Personas con Discapacidad Auditiva en Ecuador

1st Victor Eduardo Caicedo Vallejo
vcaicedov1@est.ups.edu.ec

2nd Jefferson Andrés Cajas Pichucho
jcajas2@est.ups.edu.ec

3rd Diego Vallejo-Huanga
dvallejoh@ups.edu.ec

Resumen—Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) en Ecuador, se calcula que aproximadamente 66538 ecuatorianos padecen algún tipo de discapacidad auditiva. En respuesta a esta problemática, se ha observado un notable aumento en las herramientas de traducción a Lengua de Señas. Este artículo científico presenta una aplicación web para la traducción de texto a Lengua de Señas de Ecuador (LSEC). La lógica del aplicativo web, desarrollado en Python con FastAPI, y la interfaz gráfica de usuario, implementada en Angular, siguen la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC). El controlador emplea autómatas finitos no deterministas (AFND) y expresiones regulares para el proceso de traducción. Los usuarios pueden ingresar texto mediante un teclado estándar y recibir traducciones visuales en forma de animaciones que representan signos de LSEC. La evaluación de rendimiento mostró una respuesta promedio de 0.28 segundos por petición de traducción de frases en horario de alta demanda y un 6% de fallas por petición por segundo. La usabilidad y accesibilidad de la herramienta se evaluaron en colaboración con la Federación Nacional de Ecuatorianos con Discapacidad Física (FENEDIF), que permitió mejorar y corregir errores en la representación visual de los signos de LSEC y la adopción de una paleta de colores más adecuada. En la evaluación de la aplicación web para la traducción de texto a LSEC, se obtuvo un 75% en las categorías de “muy fácil” o “moderadamente fácil” para usabilidad y un 77.77% en las categorías de “buena” y “excelente” para accesibilidad.

Palabras Clave—Video Animación, Discapacidad Auditiva, Sistema Web, Autómata Finito no Determinista, LSEC

Abstract—According to the National Council for Disability Equality (CONADIS) in Ecuador, it is estimated that approximately 66,538 Ecuadorians suffer from some hearing disability. In response to this problem, a notable increase in Sign Language translation tools has been observed. This scientific article presents a web application for text translation into the Sign Language of Ecuador (LSEC). The logic of the web application, developed in Python with FastAPI, and the graphical user interface, implemented in Angular, follow the Model View Controller (MVC) architecture. The controller employs non-deterministic finite automata (AFND) and regular expressions for translation. Users can enter text using a standard keyboard and receive visual translations in the form of animations representing LSEC signs. The performance evaluation showed an average response of 0.28 seconds per sentence translation request during high-demand hours and 6% failures per request per second. The usability and accessibility of the tool were evaluated in collaboration with the National Federation of Ecuadorians with Physical Disabilities (FENEDIF), which allowed improvement and correction of errors in the visual representation of LSEC signs and the adoption of a more appropriate color palette. In the evaluation of the web

application for text translation to LSEC, 75% was obtained in the categories of “very easy” or “moderately easy” for usability and 77.77% in the categories of “good” and “excellent” for accessibility.

Keywords—Video Animation, Hearing Impairment, Web system, Non-deterministic Finite Automata, LSEC

I. INTRODUCCIÓN

La discapacidad auditiva se refiere a la pérdida parcial o total de la capacidad para escuchar sonidos en uno o ambos oídos. Esta pérdida puede ser el resultado de factores congénitos, lesiones, enfermedades, envejecimiento, o exposición a ruido excesivo. La discapacidad auditiva puede ser temporal o permanente y puede variar en su grado, desde leve hasta profunda [1]. La pérdida de audición plantea desafíos significativos en la vida cotidiana y las soluciones de accesibilidad deben adaptarse a la diversas necesidades de las personas con discapacidad auditiva. Existen varias soluciones alternativas para mitigar estos problemas, desde ajustes simples de volumen de audio, hasta la traducción completa a lenguaje de señas [2].

Además, la pérdida de audición es un problema de salud global y según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se proyecta que para el año 2050, aproximadamente 2.5 mil millones de personas en todo el mundo experimentarán algún grado de deterioro auditivo y al menos 700 millones requerirán intervenciones de rehabilitación auditiva [3]. Estas cifras revelan la necesidad de abordar este desafío global de salud de manera rigurosa y eficaz.

En Ecuador, según los datos más recientes proporcionados por el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), se estima que un total de 66538 ecuatorianos experimentan algún grado de discapacidad auditiva, siendo 30257 mujeres y 36272 hombres los afectados [4]. Estas estadísticas muestran que existe una necesidad urgente de generar enfoques integrales para abordar la pérdida auditiva a nivel local y global.

El lenguaje de señas es un sistema de comunicación visual y espacial que utiliza signos creados con las manos. Este sistema se rige por reglas que permiten la comunicación independientemente del lenguaje hablado [5]. La Lengua de Señas de Ecuador (LSEC), es una variante que ha sido moldeada por influencias extranjeras a lo largo de su historia. El Lenguaje de

Señas Americano (ASL) llegó al Ecuador a través de miembros del Cuerpo de Paz y una lengua de señas española también tuvo alto impacto debido a un hombre hipoacúsico ecuatoriano que estudió en España y trajo algunas de las señas de ese país. Según el vicepresidente de la Federación Nacional de Personas Sordas del Ecuador (FENASEC), aproximadamente el 30% de la LSEC contiene elementos del ASL, el 20% proviene de la lengua de señas española y el 50% son señas originales de Ecuador [6].

Esta fusión lingüística refleja la diversidad de la LSEC y su evolución a lo largo del tiempo. Sin embargo, la falta de herramientas tecnológicas adecuadas ha intensificado la brecha de comunicación para las personas con discapacidad auditiva, dificultando su acceso a servicios esenciales y limitando sus oportunidades de adquirir destrezas en el lenguaje de señas. Por lo tanto, el desarrollo y la promoción de plataformas tecnológicas se convierten en una necesidad imperante, ya que no solo permiten facilitar la comunicación, sino que también impulsan la inclusión plena y la igualdad de oportunidades para todas las personas, independientemente de sus capacidades.

En la última década, la investigación en el campo de la traducción de lenguaje de señas ha avanzado y se han explorado diversas vías de implementación. Varios proyectos han abordado desde la detección y representación de señas hasta la traducción precisa, con énfasis en enfoques y soluciones tecnológicas que incluyen sistemas con sensores de realidad virtual y visión por computadora, así como la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial. Estas investigaciones han demostrado un gran potencial para cerrar la brecha comunicativa entre personas con discapacidad auditiva y aquellas sin ella. La evolución de estos sistemas y su aplicación en contextos educativos y cotidianos refleja la importancia de su uso en un mundo en constante cambio, donde las barreras para las personas con discapacidad auditiva están disminuyendo [7].

En el año 2020, se presentó el artículo *Nondeterministic Finite Automata for Modeling an Ecuadorian Sign Language Interpreter* [8], que introdujo una aplicación independiente para interpretar texto al Lenguaje de Señas de Ecuador (LSEC) mediante un modelo basado en autómatas finitos no deterministas (NFA), análisis léxico y expresiones regulares. Esta aplicación *stand-alone* permitía la interpretación de texto ingresado por un usuario y su presentación a través de recursos gráficos en formato GIF. Así, la comunicación se estableció de forma unidireccional entre personas oyentes y personas con discapacidad auditiva. Nuestro trabajo de investigación, toma como fundamento esta aplicación y extrapola su funcionamiento hacia un ambiente con interfaz web de usuario que facilite un acceso de forma remota a través del Internet. Utilizando autómatas finitos no deterministas, se validará una cadena de entrada, la cual será dividida en matrices de caracteres que correspondan a tokens definidos en el lenguaje de señas. Estos tokens podrán ser traducidos palabra a palabra o incluso carácter a carácter, devolviendo una serie de animaciones como respuesta visual. La implementación del modelo se desplegará en un sitio web que gestionará un algoritmo de

traducción a lenguaje de señas, migrando así el sistema a una plataforma en línea, con el objetivo de hacerlo accesible y ampliamente disponible.

La Federación Nacional de Ecuatorianos con Discapacidad Física (FENEDIF) es una entidad sin fines de lucro, que unifica asociaciones legalmente constituidas de personas con discapacidad física. Su misión fundamental radica en el fortalecimiento de las filiales a través de la capacitación, el intercambio de experiencias, recursos e información. La FENEDIF, desde el año 1992 de su constitución, ha brindado apoyo continuo a las personas con discapacidad y uno de sus objetivos es dar visibilidad, autonomía y sostenibilidad a las asociaciones que la conforman [9]. En este proyecto de investigación la FENEDIF retroalimentará en el funcionamiento del sistema de traducción web LSEC, con el objetivo de medir su efectividad. Este proceso de validación permitirá realizar correcciones y evaluaciones acerca de aspectos técnicos, de accesibilidad, estéticos y funcionales de la herramienta web propuesta, en un entorno real.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Existen algunos trabajos previos que han abordado el proceso de traducción, mediante el lenguaje de señas, evidenciando beneficios significativos para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad auditiva. Así, Alam et al. [10] presentan una arquitectura de Red Neuronal Convolutiva (CNN), capaz de reconocer los signos del Lenguaje de Señas Bengalí (BdSL) y traducirlos en caracteres bengalíes textuales, para la comunicación en tiempo real. La estructura de reconocimiento se validó utilizando un conjunto de datos de 4600 imágenes de señas manuales, recopiladas de personas voluntarias, utilizando una cámara web de alta definición. Además, el modelo propuesto permite la mejora continua del conjunto de datos a través de la captura de nuevas imágenes de personas con variaciones en tiempo real. El modelo de CNN alcanzó una precisión, en el proceso de evaluación del rendimiento, del 99.57% y una pérdida de validación del 0.56%, en el reconocimiento y traducción de caracteres del BdSL.

En el año 2018, los autores Jirawat Tumsri y Warangkhan Kimpan presentaron un método integral para la creación de un prototipo de autómata finito, diseñado específicamente para la Lengua de Signos Tailandesa (TSL) [11]. El objetivo principal de este enfoque es superar las barreras de comunicación entre personas con discapacidad auditiva y personas sin discapacidad auditiva. La primera parte del método involucra la recopilación de muestras de TSL en forma de patrones de posición en los ejes X e Y. Estos datos se ajustan y decodifican en códigos de tres dígitos para cada dedo, que posteriormente se utilizan para determinar el orden y el número de dedos a utilizar en TSL. En la siguiente etapa, los usuarios interactúan mediante el controlador Leap Motion, que registra la posición en los ejes X e Y. Estos datos se ajustan y decodifican utilizando el sistema TSL. Además, se emplea un prototipo de autómata finito predefinido para identificar la correspondencia con patrones específicos del alfabeto tailandés y genera un

carácter traducido. El modelo alcanzó una precisión promedio del 78.70% en la transformación de la lengua de signos tailandesa.

En [12] se presenta un sistema web de reconocimiento del Lenguaje de Señas Americano (ASL) que interpreta la comunicación basada en gestos y la convierte en texto. Este sistema utiliza un clasificador 3D Convolutional Neural Network (3DCNN) y Long Short-Term Memory (LSTM) para el reconocimiento de gestos dinámicos. Los resultados experimentales muestran una precisión del 97.50% en un conjunto de datos de prueba con letras del ASL, del 99.5% en el conjunto de datos de prueba de dígitos y una precisión del 98.81% en el conjunto de datos de validación de gestos dinámicos. Además, el sistema tiene una precisión del 90% en las pruebas con gestos manuales para las letras del ASL capturados en tiempo real con una cámara web. A pesar de su alta precisión, se reconoce que la iluminación inadecuada y fondos complejos pueden afectar el rendimiento del sistema.

En 2020, Guerra et al. [8] propusieron una aplicación para interpretar texto a Lengua de Señas de Ecuador (LSEC), utilizando un modelo basado en autómata finito no determinista (NFA). Esta aplicación permite la interpretación de texto mediante recursos gráficos en formato GIF, facilitando la comunicación entre personas oyentes y con discapacidad auditiva. El artículo se basa en una arquitectura MVC, donde la máquina de estados y el analizador léxico residen en la capa del modelo, gestionados por la capa del controlador para recibir las entradas del usuario y enviar las salidas a través de la capa de vista. Además, se evalúa la herramienta utilizando un diccionario de LSEC con 275 palabras y frases ecuatorianas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la creación de la herramienta web de traducción a LSEC, se utilizó una metodología de desarrollo de software que se enfoca en el ingreso de datos, su procesamiento y modelado, la arquitectura del sistema web y el proceso de generación de respuestas en el interfaz. La Figura 1 resume el funcionamiento del sistema propuesto en esta investigación.

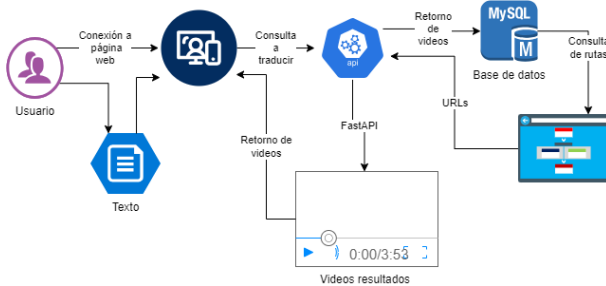


Fig. 1: Esquema metodológico de funcionamiento del sistema de traducción LSEC.

El proceso principal del sistema, ilustrado en la Figura 1, inicia con la solicitud de traducción por parte del usuario. El usuario realiza una petición en formato textual, el sistema recibe este texto y lo envía a una API para su procesamiento

mediante autómatas finitos. La API es la encargada de descomponer textos en palabras, caracteres o dígitos denominados tokens para su posterior consulta a través de la base de datos. La respuesta de esta consulta proporciona una dirección de almacenamiento para los videos de traducción resultantes a través de un formato JSON hacia la interfaz web. Finalmente, este conjunto de direcciones se carga en un carrusel de videos para su reproducción. La API fue desarrollada a través de FASTAPI, una herramienta para aplicaciones API web basadas en Python 3 [13].

A. Diseño de la Arquitectura de Software

El patrón de arquitectura de software seleccionado para este trabajo de investigación es el de Modelo-Vista-Controlador (MVC). Este patrón describe la organización de un sistema de objetos y puede aplicarse tanto a subsistemas aislados como a aplicaciones completas. A diferencia de muchos otros patrones, el MVC ofrece una definición menos rígida, permitiendo implementaciones alternativas [14]. La Figura 2 muestra el diagrama de bloques de la arquitectura MVC planteada.

Para los procesos de Modelo y Controlador se utilizan contenedores de Dockers, con el objetivo de realizar un despliegue y ejecución del sistema web, de forma más rápida y estandarizada. La utilización de estos nodos posibilita la encapsulación de una aplicación con todas sus dependencias, incluyendo bibliotecas, y su posterior envío como un único paquete [15]. Por defecto, Docker utiliza un *socket* UNIX, sin conexión a la red, pero brinda la posibilidad de habilitar la comunicación opcional a través de SSH o un *socket* TLS (HTTPS) para asegurar la integridad del *socket* del daemon de Docker.

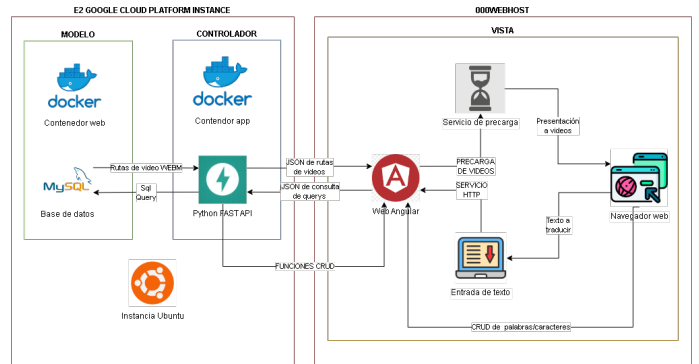


Fig. 2: Arquitectura MVC del sistema de traducción LSEC

Para la implementación del sistema se usó Python 3.9.12 como lenguaje de programación para el desarrollo del controlador, Angular para la implementación del *frontend* y MySQL como base de datos para respaldar la información del *backend*. La infraestructura se desplegó en una instancia e2-medium en Google Cloud Platform (GCP), equipada con CPU AMD Rome, arquitectura x86-x64, 2 CPU virtuales por núcleo y 4 GB de RAM. Esta instancia se ubicó en la región us-west4-b y se habilitó el protocolo HTTP para facilitar la comunicación. Para asegurar una comunicación segura, se decidió implementar una instancia Ubuntu 22.04 LTS mediante Docker. Dentro

de esta instancia, se desplegaron dos contenedores clave: uno denominado “db” para la gestión de la base de datos y otro llamado “app” destinado a la API.

1) *Implementación del Modelo:* En el contenedor “db”, que opera exclusivamente en el puerto 3306 y está accesible solo desde el contenedor “app”, se gestiona una base de datos MySQL. Esta base almacena el glosario básico de palabras y caracteres relacionados con la traducción del texto. Cada entrada en la base de datos contiene información de las rutas asociadas a los vídeos correspondientes a cada palabra o carácter, ubicados dentro del mismo contenedor “app”.

2) *Implementación de la Vista:* La aplicación web desarrollada con Angular está alojada en el host gratuito “000web-host”. La comunicación entre la web y la API se establece mediante una IP pública y el puerto 4200 del host. El aplicativo consta de cuatro interfaces:

- **Interfaz de traducción de texto:** en la Figura 3, se presenta la interfaz principal de la aplicación web del traductor. Existe una área para la entrada de texto, por parte del usuario, que se traducirá a lenguaje de señas. Se incluyen botones para la reproducción y pausa del video de traducción a LSEC. Además, se observa una barra de control de velocidad para ajustar la reproducción de los videos. La parte derecha, de esta interfaz, muestra los videos de traducción al lenguaje de señas. La sección de inicio de sesión como administrador permite realizar modificaciones en el sistema.



Fig. 3: Interfaz principal de la aplicación web de traducción a LSEC

- **Interfaz para agregar animaciones:** la herramienta propuesta en esta investigación permite agregar una nueva palabra en el sistema. El proceso de agregación se divide en tres partes: en primer lugar, se ingresa la palabra en formato textual; luego, se dispone de un espacio para añadir una descripción de la palabra; finalmente, se agrega un video, en formato webM, que representará esa palabra en lenguaje de señas. La interfaz también incluye los botones “Agregar” y “Cancelar” para confirmar o descartar la operación, respectivamente.
- **Interfaz para actualizar animación:** esta interfaz fue diseñada con el objetivo de actualizar animaciones. Primero, se puede elegir entre actualizar una palabra o un carácter. A continuación, se despliegan las palabras o caracteres a modificar. Luego, se introduce la nueva representación textual y se carga el vídeo, como se

muestra en la Figura 4. La interfaz tiene dos botones: uno para “confirmar” la actualización de la animación y otro para “cancelar” la operación.

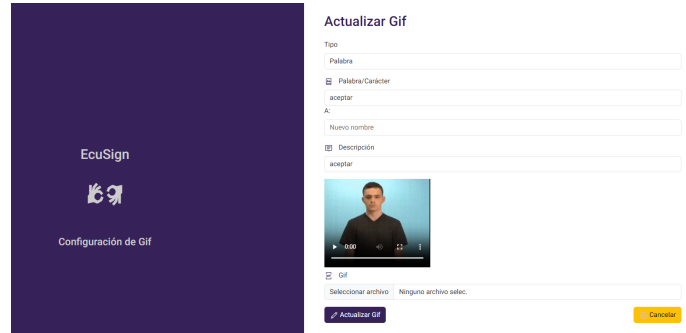


Fig. 4: Interfaz web para actualizar una animación

- **Interfaz de configuración de la base de datos:** esta interfaz fue diseñada con el objetivo de ajustar la configuración de la base de datos que almacena el material visual y textual de la lengua de señas LSEC. Aquí es posible ingresar el nombre de la base de datos, el usuario y la contraseña. Además, se incluyen dos botones para “confirmar” o “cancelar” el proceso.

3) *Implementación del Controlador:* Se implementó FastAPI, dentro del contenedor “app”, para controlar la lógica de traducción a lenguaje de señas mediante la implementación de AFND. El objetivo es procesar y validar la cadena de texto ingresada por el usuario mediante un análisis léxico hacia tokens. Este contenedor también almacena la colección de vídeos asociados al glosario, garantizando coherencia entre la lógica de traducción y los recursos visuales. El siguiente proceso detalla el funcionamiento del análisis textual mediante el API:

- **Autómata finito no determinista en API:** El proceso de control en la aplicación, realizada por el AFND, se define por tres estados Q_0 , Q_1 , y Q_2 . Esta estructura computacional interpreta y valida las entradas del usuario al descomponer una cadena de texto para su traducción. En Q_0 , se verifica que la cadena comience con una letra o dígito numérico, excluyendo ciertos caracteres especiales del alfabeto español. Q_1 confirma la presencia de letras o dígitos numéricos, permitiendo caracteres especiales (á, é, í, ó, ú y ñ) y la cadena vacía λ que actúa como delimitador entre tokens. En el caso de encontrarse un fallo en los estados Q_0 y Q_1 , Q_2 genera una excepción, cancelando la traducción.
- **Función para analizar texto y traducirlo a videos:** esta función es invocada mediante una solicitud HTTP POST a la ruta `/logic/analyze-text-videos/`. La cadena de texto a traducir se incluye en el cuerpo de la solicitud o en los parámetros de la URL. Inicialmente, la función descompone la cadena de texto en tokens, mediante el análisis léxico avanzado con AFND. Luego, se utiliza la clase `Lexer`, que al implementar los estados

Q_0 y Q_1 , Q_2 valida y clasifica cada parte de la cadena en un token asociado a un recurso visual correspondiente.

- **Construcción de la respuesta JSON:** El proceso ilustrado en la Figura 5, inicia con la construcción de un formato JSON de respuesta, que contiene un array de tokens, donde cada uno representa una palabra, carácter o dígito asociado en la base de datos a un recurso visual, para su correspondiente envío a la web.

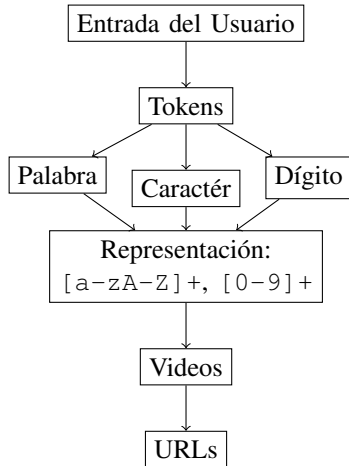


Fig. 5: Proceso de construcción de la respuesta a la traducción

La herramienta puede ser consumida en la siguiente dirección URL <http://ecuatoriansignlanguagefedif.000webhostapp.com>. Además, el código del *backend* y *frontend* de la aplicación se encuentran en el repositorio https://github.com/dievalhu/LSEC_Web.

IV. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

La experimentación de este artículo científico se centra en la evaluación del rendimiento, la usabilidad y accesibilidad, con el propósito de obtener métricas que comprueben la capacidad de respuesta a peticiones concurrentes con alta demanda, además de evaluar la percepción de los usuarios en torno a la facilidad de uso del sistema. Ergo, el objetivo principal es implementar mejoras a la experiencia del usuario y la respuesta del aplicativo.

A. Pruebas de Estrés y Carga para Comprobar el Funcionamiento de la Herramienta

El análisis del rendimiento del sistema se llevó a cabo con un *script* que utilizó la biblioteca “Locust” de Python, para medir la optimización en el desarrollo de software [16]. Este *script* evaluó el rendimiento de los *Endpoints*, que son puntos finales de una interfaz de conexión en un servicio web-API. Se configuraron dos pruebas diferentes en este *script*: una para la API y otra para el sitio web. Ambas pruebas simulaban un aumento gradual de cincuenta usuarios, con la incorporación de un usuario por segundo, durante un período continuo de una hora; permitiendo evaluar el sistema en condiciones de carga variable.

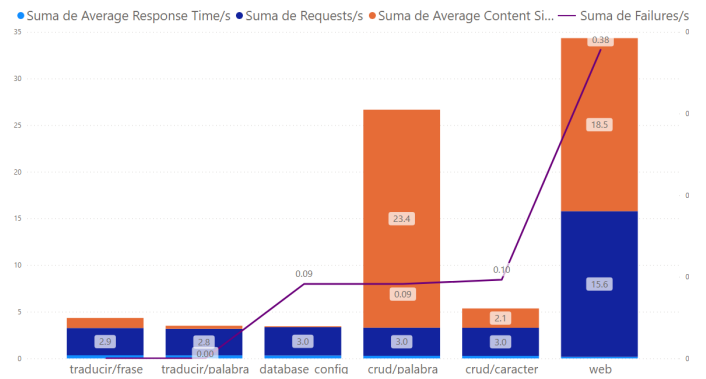


Fig. 6: Comparativa del tamaño del contenido, el tiempo de respuesta y la cantidad de peticiones y fallos por segundo

La Figura 6 y la Tabla I detallan los principales *Endpoints*, donde las mediciones se ejecutaron para la traducción de una palabra o frase con 0.34 s para 14051405 bytes, la configuración de la base de datos con 0.31 s para 97 bytes, el proceso de creación, lectura, actualización y eliminación (CRUD) de palabras o frases con 0.28 s para 25439.04 bytes. Además de la respuesta de la página web con 0.17 s para 18547.83 bytes. El sistema en conjunto obtuvo una respuesta promedio de solicitud de 0.23 s en la API-web para 50 usuarios concurrentes, bajo alta demanda, con un tasa de fallos del 6% sobre las consultas por segundo.

Endpoint	ART (s)	Req/s	Fallos/s	ACS (bytes)
crud/carácter	0.27	3.02	0.10	2071.57
crud/palabra	0.28	3.02	0.09	23367.47
traductor/palabra	0.33	2.85	0.00	328.00
traductor/caracter	0.34	2.92	0.00	1077.00
database/_config	0.31	3.04	0.09	97.00
web	0.17	15.61	0.38	18547.83

Tabla I: Tiempo de respuesta promedio y tamaño de contenido promedio por *Endpoint*

En la Tabla II, se presenta un resumen estadístico para cada *Endpoint* con el número de solicitudes realizadas y el número de fallas registradas en relación con el número total de peticiones. Esto permite obtener porcentajes individuales para aciertos y fallas en cada *URL*, alcanzando globalmente un 97.84% de aciertos y un 2.16% de fallas.

Endpoint	Solicitudes	Fallas	% Solicitudes	% Fallos
crud/carácter	10,851	347	96.8%	3.2%
crud/palabra	10,863	328	96.98%	3.02%
traductor/palabra	10,241	0	100.0%	0.0%
traductor/frase	10,522	0	100.0%	0.0%
database/config	10,936	328	97.0%	3.0%
web	56,177	1,360	97.58%	2.42%

Tabla II: Solicitudes y fallas por *Endpoint*

B. Evaluación Externa de la Herramienta web

Se realizó una evaluación externa de la herramienta web, con el apoyo de personas con discapacidad auditiva, para obtener información sobre las falencias de usabilidad y accesibilidad de la herramienta. Los resultados de esta evaluación

se utilizaron para implementar mejoras necesarias, buscando optimizar la experiencia de los usuarios al interactuar con la herramienta web.

1) *Primera Fase de Evaluación:* Durante la primera fase de evaluación, dos colaboradores, un experto hipoacúsico en LSEC y un intérprete de LSEC vinculados a FENEDIF, evaluaron el sistema web. Durante esta fase, se obtuvieron los errores en la representación visual de los signos de LSEC con inexactitudes en la gramática de algunos caracteres. Además, la versión independiente (*stand-alone*) de la aplicación, tenía deficiencias en las animaciones con prendas de color rojo, consideradas inapropiadas por su asociación con peligro y advertencia; y la mano del personaje al señalar a menudo superaba la altura del hombro, cubriendo su rostro, lo que afectaba la claridad de los signos.

2) *Segunda Fase de Evaluación:* Durante la segunda fase de evaluación, participaron nueve miembros de FENEDIF, entre ellos ocho personas con diversos grados de discapacidad auditiva y un intérprete de LSEC. En este contexto, se realizó una encuesta para recolectar información sobre aspectos como la edad, el grado y tipo de discapacidad auditiva, la facilidad de uso de la herramienta, conocimientos previos de LSEC, nivel educativo y sugerencias para mejorar la aplicación.

En las encuestas se observa una marcada participación de jóvenes que presentan algún grado de discapacidad auditiva, el 78% de los encuestados se encuentran en el rango de edad entre 20 y 25 años, mientras que el 22% restante se sitúa en la franja de 35 a 40 años.

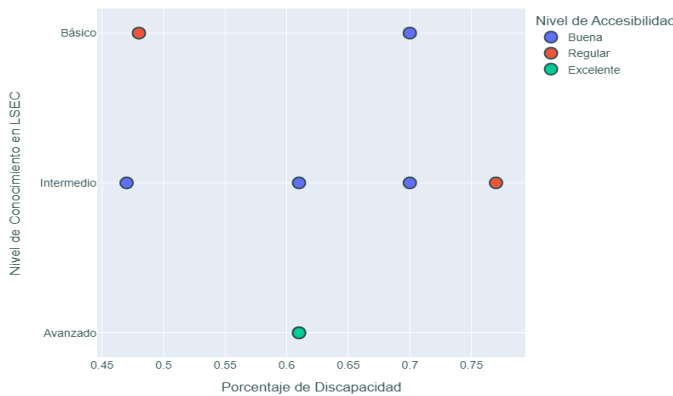


Fig. 7: Relación entre porcentaje de discapacidad, nivel de LSEC y accesibilidad

En la Figura 7, se evidencia que los encuestados con un nivel intermedio de conocimiento en LSEC, perciben la aplicación web con una “accesibilidad media”, aquellos con un nivel avanzado la perciben con “accesibilidad excelente” y los encuestados con niveles intermedio y básico consideran la accesibilidad como “regular”. Entonces, el 57.14% de las encuestas fueron calificadas con un nivel “bueno” de accesibilidad.

Por otro lado, en la Figura 8, se puede apreciar que el 75% de los encuestados considera que el uso del aplicativo es sencillo, ya que califican su dificultad en los rangos de “fácil”, “muy fácil” y “moderadamente fácil”. Esto resulta en una usabilidad general del aplicativo calificada como “fácil”. Además, el 37.5% de los encuestados indican tener un nivel educativo de “preparatoria”.

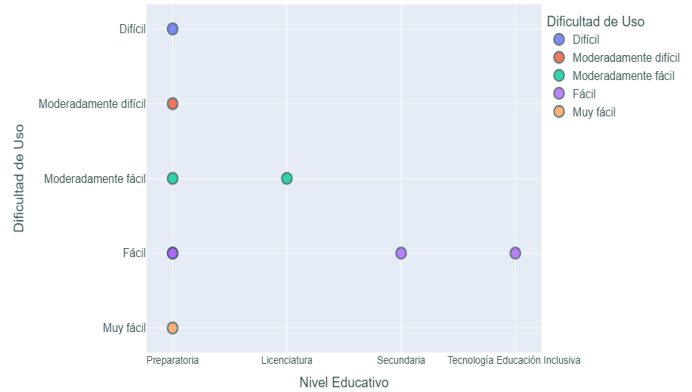


Fig. 8: Relación entre nivel educativo y dificultad de uso

C. Mejoras Implementadas en la Aplicación Web

1) *Viabilidad de Representación de Lengua de Señas mediante Inteligencia Artificial:* Antes de ejecutar la regrabación de las representaciones de señas, durante la fase inicial de pruebas, se consideró la posibilidad de utilizar inteligencia artificial para su representación visual. Sin embargo, existieron algunos problemas, debido a la singularidad de la LSEC. La representación de las señas mediante inteligencia artificial produjo inexactitudes en la traducción, especialmente porque ciertas representaciones de la mano tenían una mayor cantidad de dedos o estos se mostraban distorsionados. También, en ciertas ocasiones, se generaban representaciones que no guardaban relación con la LSEC. Por estas razones, se descartó la opción de utilizar inteligencia artificial para la representación de las señas en el sistema. En las Figuras 9 y 10, se muestra la representación de la letra “A” en lengua de señas utilizando dos modelos de inteligencia artificial, *Runway* y *zeroscope-v2-xl*. Ambas herramientas permiten generar videos a partir de texto. Sin embargo, es evidente que la representación de las manos es incorrecta, y las imágenes no corresponden a la representación real de la letra A en LSEC.

2) *Mejora en la Representación Gráfica de los Signos de LSEC:* En esta nueva representación, cada letra del alfabeto, desde la “a” hasta la “z” y los números del 0 al 9, fueron rediseñados con la colaboración de un experto en LSEC. Este proceso incluyó la corrección de las observaciones previas relacionadas con la representación visual. Adicionalmente, se sustituyó por completo el material audiovisual de la versión *stand-alone* con nuevas animaciones que representan de manera correcta la gramática de LSEC.



Fig. 9: Representación de la letra “A” en lengua de señas usando *runwayrunway*

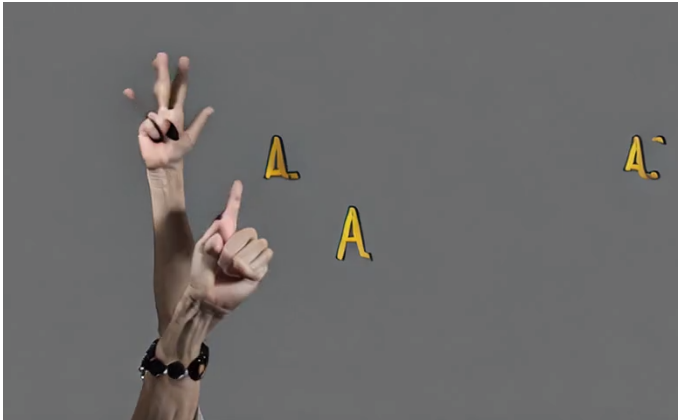


Fig. 10: Representación de la letra “A” en lengua de señas usando *zeroscope-v2-xl*

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este estudio, se implementó una aplicación web para la traducción al LSEC, modelado por AFND y expresiones regulares. La aplicación tiene la capacidad de traducir un total de 275 palabras y expresiones, abarcando la gramática propia del LSEC. Durante la fase experimental, se realizaron pruebas de estrés y carga, junto con una evaluación externa del aplicativo donde se obtienen velocidades de respuesta mínimas de 0.2 s para peticiones simples de traducción que permite tener una velocidad apropiada para la tarea de traducción. Expertos en LSEC y personas con diversos grados de discapacidad auditiva participaron en esta evaluación. Las sugerencias y análisis resultantes se utilizaron para mejorar la representación visual de las señas en comparación con la versión *stand-alone*. En la valoración de la herramienta, se destacó la importancia atribuida por los usuarios a la naturalidad y la interpretación precisa de las señas en la aplicación web de traducción.

Esta aplicación web de traducción puede ser empleada por diversos grupos sociales que enfrentan o no un grado discapacidad auditiva. La herramienta puede ser usada en diferentes contextos, incluyendo entornos laborales, educativos y cotidianos, ya que su URL es público. La herramienta permite actualizar animaciones, palabras, expresiones y car-

acteres de manera sencilla a través de una interfaz intuitiva, permitiendo que la herramienta se ajuste de manera efectiva a contextos específicos.

El sistema traductor ha experimentado una mejora notable en cuanto a accesibilidad, como producto de la evaluación externa. Las personas indicaron en un 77.77% que la herramienta tiene accesibilidad “buena” o “excelente”, al ser trasladado a una plataforma web.

Como prospectiva, la herramienta de traducción a LSEC, podría trasladarse hacia una aplicación móvil con el propósito de mejorar la accesibilidad hacia una de las tendencias tecnológicas más utilizadas. Adicionalmente, como trabajo futuro es recomendable que el sistema de traducción propuesto sea evaluado con una muestra representativa de población oyente en diversos entornos sociales.

REFERENCES

- [1] K. King and D. Stephens, “Auditory and psychological factors in ‘auditory disability with normal hearing’,” *Scandinavian audiology*, vol. 21, no. 2, pp. 109–114, 1992.
- [2] A. Cavender and R. E. Ladner, “Hearing impairments,” *Web accessibility: A foundation for research*, pp. 25–35, 2008.
- [3] W. H. Organization. Deafness and hearing loss. World Health Organization. Accedido el 27 de septiembre de 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- [4] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS). (2021) Estadísticas de discapacidad. Accedido el 28 de septiembre de 2023. [Online]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- [5] V. T. Mueller, “Alternative communication,” *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*, pp. 102–105, 2013.
- [6] D. Eberle, E. Parks, S. Eberle, and J. Parks, “Sociolinguistic survey report of the ecuadorian deaf community,” *SIL Electronic Survey Report 2012-02X*, 2012.
- [7] B. S. Parton, “Sign language recognition and translation: A multidisciplinary approach from the field of artificial intelligence,” *Journal of deaf studies and deaf education*, vol. 11, no. 1, pp. 94–101, 2006.
- [8] J. Guerra, D. Vallejo-Huanga, N. Jaramillo, R. Macas, and D. Díaz, “Nondeterministic finite automata for modeling an ecuadorian sign language interpreter,” in *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conferences on Software and Systems Engineering, and Artificial Intelligence and Social Computing, July 16-20, 2020, USA*. Springer, 2021, pp. 369–376.
- [9] Federación Nacional de Ecuatorianos con Discapacidad Física (FENEDIF). Servicio de integración laboral de las federaciones nacionales de y para la discapacidad (sil). Consultado el 1 de noviembre de 2023. [Online]. Available: <https://www.discapacidadesecuador.org/sil/index.php?btnpagina=pagina-publico-antecedentes>
- [10] M. S. Alam, M. Tanvir, D. K. Saha, and S. K. Das, “Two dimensional convolutional neural network approach for real-time bangla sign language characters recognition and translation,” *SN Computer Science*, vol. 2, pp. 1–13, 2021.
- [11] J. Tumsri and W. Kimpan, “Applied finite automata and quadtree technique for thai sign language translation,” in *Transactions on Engineering Technologies: International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017 25*. Springer, 2018, pp. 351–365.
- [12] D. Bendarkar, P. Somase, P. Rebari, R. Paturkar, and A. Khan, “Web based recognition and translation of american sign language with cnn and rnn,” 2021.
- [13] P. Bansal and A. Ouda, “Study on integration of fastapi and machine learning for continuous authentication of behavioral biometrics,” in *2022 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*. IEEE, 2022, pp. 1–6.
- [14] J. Bucanek, “Model-view-controller pattern,” *Learn Objective-C for Java Developers*, pp. 353–402, 2009.
- [15] C. Carrión, “Kubernetes as a standard container orchestrator-a bibliometric analysis,” *Journal of Grid Computing*, vol. 20, no. 4, p. 42, 2022.

- [16] A. Macedo Pereira, "Diseño e implementación de un middleware para la integración horizontal de aplicaciones y dispositivos iot usando la arquitectura de microservicios," 2020.