



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Tesis de Maestría

Integración de un dispositivo que despliegue de forma
gráfica las palabras expresadas por el interlocutor

presentada por

Ing. Guillermo Rojas Solis

como requisito para la obtención del grado de
Maestro en Ciencias de la Computación

Director de tesis

Dr. Máximo López Sánchez

Codirector de tesis

Dra. Andrea Magadán Salazar

Cuernavaca, Morelos, México. Agosto de 2026.



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Departamento de Ciencias Computacionales

Cuernavaca, Mor., 22/JUNIO/2026

OFICIO No. DCC/131/2026

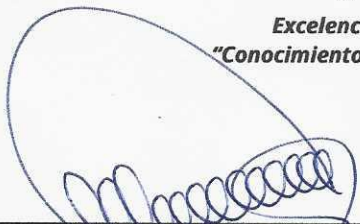
Asunto: Aceptación de documento de tesis
CENIDET-AC-004-M14-OFICIO

CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

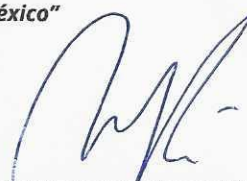
Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de **Guillermo Rojas Solis** con número de control **M23CE079**, de la Maestría en Ciencias de la Computación, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado **"Integración de un dispositivo que despliegue en forma gráfica las palabras expresadas por el interlocutor"** y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Conocimiento y Tecnología al Servicio de México"



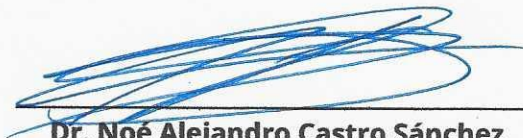
Dr. Máximo López Sánchez
Director de tesis



Dra. Andrea Magadán Salazar
Codirectora de tesis



Dr. Raúl Pinto Elías
Revisor 1



Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez
Revisor 2

C.c.p. Depto. Servicios Escolares.
Expediente / Estudiante



2026
año de
Margarita
Maza





Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Subdirección Académica

Cuernavaca Mor, 23/junio/2026

Oficio No. SAC/179/2026

Asunto: Autorización de impresión de tesis

GUILLERMO ROJAS SOLIS
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN
P R E S E N T E

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **"Integración de un dispositivo que despliegue en forma gráfica las palabras expresadas por el interlocutor"**, ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

"Conocimiento y Tecnología al servicio de México"

CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



c.c.p. Departamento de Ciencias Computacionales
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/lmz



2026
año de
Margarita
Maza

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira,
C.P. 62490, Cuernavaca, Morelos Tel. 01 (777) 3627770, ext. 4106,
e-mail: acad_cenidet@tecnm.mx | cenidet.tecnm.mx

Agradecimiento

Mi más profundo agradecimiento al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por ser el espacio donde se gestó este proyecto. Asimismo, a SECIHTI por la beca otorgada que fue un gran apoyo durante el posgrado.

Al Dr. Máximo López Sánchez, por su orientación en la elaboración de esta tesis y, sobre todo, por su paciencia y guía durante toda la investigación. Asimismo, a la Dra. Andrea Magadán Salazar, por su invaluable apoyo y consejos que me acompañaron a lo largo de la maestría.

Mi reconocimiento al Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez y al Dr. Raúl Pinto Elías, cuyas observaciones y críticas constructivas ayudaron a estructurar mejor mis ideas y elevar la calidad de este trabajo.

Agradezco a Erik Arellano, por su apoyo en las pruebas y por compartir sus conocimientos sobre las lenguas de señas, lo cual fue pieza clave para la publicación de un artículo. De igual forma, a la Mtra. Alejandra, al Mtro. Ricardo, por su disposición y tiempo durante las pruebas.

Un agradecimiento especial a Berenice, quien fue mi alumna, por su apoyo como hablante de la Lengua de Señas Mexicana; así como a las maestras Karen y Rebeca del DIF CDMX, por sus enseñanzas y por abrirme las puertas al conocimiento de la LSM.

Agradezco profundamente a mis padres Joel y Catalina por su apoyo durante el tiempo que estuve fuera realizando esta maestría.

Tabla de acrónimos

Siglas	Definición
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
ASL	Lengua de Señas Americana
CSL	Lengua de Señas Coreana
DSI	Interfaz Serie de Pantalla
FPS	Fotogramas por Segundo
GND	Tierra o Masa
GPIO	Entrada/Salida de Propósito General
HDMI	Interface Multimedia de Alta Definición
Hz	Hertz
I ² C	Circuito Inter-Integrado
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
ISL	Lengua de Señas India
LSC	Lengua de Señas Colombiana
LSE	Lengua de Señas Ecuatoriana
LSM	Lengua de Señas Mexicana
LSP	Lengua de Señas Peruana
OLED	Diodo Orgánico de Emisión de Luz
PLN	Procesamiento del lenguaje natural
PSL	Lengua de Señas Paquistaní
SDK	Kit de Desarrollo de Software
SOV	Sujeto-Objeto-Verbo (Estructura gramatical)
SPI	Interfaz Periférica Serial
SSL	Lengua de Señas Saudi
TLSOV	Tiempo-Lugar-Sujeto-Objeto-Verbo (Estructura gramatical)

Resumen

La presente tesis describe la creación, validación y evaluación de un dispositivo intérprete que convierte voz en texto escrito y, simultáneamente, muestra pictogramas representativos obtenidos de *SignWriting*. El objetivo es facilitar la comunicación entre una persona oyente y una sorda utilizando la Lengua de Señas Mexicana (LSM).

El documento describe los alcances del prototipo siendo el reconocimiento de voz y presentación de pictogramas, soporte para un solo interlocutor y presentación de las imágenes en orden gramatical correspondiente a la LSM. Se reconocen limitaciones técnicas, como la dependencia del conjunto de pictogramas disponibles y la imposibilidad de manejar múltiples interlocutores simultáneamente.

Los participantes en las pruebas fueron maestros hablantes de LSM, personas hipoacúsicas y una persona sorda quien es un representante de la comunidad. Cada prueba consistió en la reproducción de frases sencillas de una conversación, evaluando la claridad de los pictogramas, el número de pictogramas reconocidos y la utilidad percibida mediante un cuestionario de 9 preguntas. Los resultados cuantitativos se complementan con respuestas abiertas que indican áreas de mejora.

El prototipo fue desarrollado siguiendo un proceso de cinco fases. Los resultados revelan que el 56% de las frases probadas son estructuradas por el software propuesto bajo la estructura Tiempo-Lugar-Sujeto-Objeto-Verbo (TLSOV), mientras que el 44% lo es con Sujeto-Objeto-Verbo (SOV). La media de puntuación en los cuestionarios alcanzó un promedio de 4.8/5 para la claridad del mensaje escrito y 4.6/5 para la utilidad percibida del dispositivo; la comodidad de uso se situó en 4.4/5.

En conclusión, el prototipo logra comunicar frases sencillas en LSM, mostrando su potencial como herramienta de apoyo para la interacción entre oyentes y sordos. Los hallazgos sugieren que, con mejoras en el vocabulario y agregando Modelo de Lenguaje Extendido (LLM), se podrá ampliar la utilidad del sistema a contextos más complejos.

Abstract

This thesis describes the creation, validation, and evaluation of an interpreting device that converts speech into written text and simultaneously displays representative pictograms obtained from SignWriting. The goal is to facilitate communication between a hearing person and a deaf person using Mexican Sign Language (LSM).

The document explains the scope of the prototype, which includes voice recognition and pictogram display, support for a single user, and presentation of images in the grammatical order corresponding to LSM. Technical limitations are acknowledged, such as dependence on the available set of pictograms and the inability to handle multiple users simultaneously.

Participants in the tests included LSM-speaking teachers, hard-of-hearing people, and a deaf person representing the community. Each test consisted of reproducing simple conversational sentences, evaluating the clarity of the pictograms, the number of pictograms recognized, and perceived usefulness through a 9-question survey. Quantitative results are complemented with open-ended responses indicating areas for improvement.

The prototype was developed following a five-phase process. Results show that 56% of the tested sentences are structured by the proposed software under the Time-Place-Subject-Object-Verb (TPSOV) order, while 44% follow the Subject-Object-Verb (SOV) order. Average survey scores were 4.8/5 for written message clarity and 4.6/5 for perceived device usefulness; user comfort scored 4.4/5.

In conclusion, the prototype successfully communicates simple sentences in LSM, showing its potential as a support tool for interaction between hearing and deaf individuals. The findings suggest that, with improvements in vocabulary and adding an Extended Language Model (LLM), the system's usefulness could be expanded to more complex contexts.

Índice

Capítulo 1

Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Objetivo general.....	2
1.4. Objetivos específicos.....	2
1.5. Justificación.....	3
1.6. Alcances y limitaciones.....	3
1.7. Organización de la tesis.....	4

Capítulo 2

Marco conceptual.....	6
2.1. Lengua de Señas Mexicanas (LSM).....	6
2.2. Herencia lingüística.....	7
2.3. Intérprete.....	7
2.4. Signos.....	8
2.5. Comunicación.....	8
2.6. Dispositivo.....	9
2.7. Sensores.....	9
2.8. Unidad de procesamiento.....	10
2.9. API.....	10
2.10. Voz a texto (Speech to text).....	10
2.11. Procesamiento del lenguaje natural (PLN).....	11

Capítulo 3

Estado del arte.....	12
3.1. Aspecto lingüístico.....	12
3.2. Sistemas de reconocimiento de la lengua de señas.....	13
3.3. Patentes revisadas.....	13
3.4. Análisis.....	15
3.4.1. Aspectos lingüísticos y sistemas de reconocimiento de las lenguas de señas.....	15
3.4.2. Patentes revisadas.....	17

Capítulo 4

Estado de la técnica.....	18
4.1. Revisión de software disponible.....	18
4.1.1. Python Speech Recognition.....	18
4.1.2. Python NLTK y spaCy.....	19
4.1.3. SQLite.....	20

4.2. Revisión de hardware disponible.....	20
Capítulo 5	
Metodología.....	24
5.1. Fase 1: Documental.....	25
5.2. Fase 2: Software.....	25
5.3. Fase 3: Hardware.....	26
5.4. Fase 4: Prototipo.....	26
5.4.1. Software del sistema y librerías.....	27
5.4.1.1. Lógica de programación.....	28
5.4.1.2. Base de datos.....	28
5.4.2. Ensamble de prototipo.....	29
5.5. Fase 5: Pruebas.....	32
5.5.1. Motores de conversión a texto.....	32
5.5.2. Funcionamiento de Software.....	33
5.5.3. Pruebas de funcionamiento en prototipos.....	35
5.5.4. Funcionamiento con usuarios hablantes y sordos.....	37
5.5.4.1. Diseño de la prueba.....	37
5.5.4.2. Datos obtenidos de las pruebas.....	40
Capítulo 6	
Resultados.....	43
Capítulo 7	
Hallazgos.....	47
Capítulo 8	
Discusión.....	48
Capítulo 9	
Conclusiones.....	49
Actividades académicas.....	51
Trabajos futuros.....	52
Referencias.....	53

Índice de tablas

Tabla 3.1 Resumen de textos relacionados al aspecto lingüístico.....	12
Tabla 3.2 Resumen de textos relacionados a los sistemas de reconocimiento del lenguaje de señas.....	13
Tabla 3.3 Resumen de las patentes relacionadas a dispositivos.....	14
Tabla 3.4 Conceptos importantes relacionados a las lenguas.....	16
Tabla 4.1 Resumen de motores Open Source.....	19
Tabla 4.2 Resumen de motores de paga.....	19
Tabla 4.3 Comparación de hardware de adquisición de datos.....	21
Tabla 4.4 Comparación de hardware para visualización de datos.....	22
Tabla 4.5 Comparación de hardware para captura de audio.....	23
Tabla 5.1 Hardware propuesto para pruebas.....	26
Tabla 5.2 Librerías Python necesarias para el funcionamiento.....	31
Tabla 5.3 Dependencias de Linux necesarias para el funcionamiento.....	32
Tabla 5.4 Resultados de pruebas a motores Open Source.....	33
Tabla 5.5 Preguntas y respuestas de los 4 participantes hablantes e hipoacúsicos.....	41
Tabla 5.6 Preguntas y respuestas del participante sordo.....	42
Tabla 6.1 Valores medios obtenidos en las preguntas de la encuesta.....	44
Tabla 6.2 Sugerencias escritas por los participantes.....	44
Tabla 6.3 Texto capturado y reacomodo de estructura gramatical lograda.....	46

Índice de figuras

Figura 2.1 Signo que representa a la Lengua de Señas Mexicanas.....	6
Figura 2.2 Profesional intérprete de la LSM.....	7
Figura 2.3 Signos del abecedario escrito y en LSM.....	8
Figura 2.4 Representación de la comunicación involucrando al intérprete (Triana, 2019).....	9
Figura 5.1 Diagrama general de metodología propuesta.....	25
Figura 5.2 Propuestas de diseño para el prototipo.....	27
Figura 5.3 Diagrama de base de datos.....	28
Figura 5.4 Ejemplo de entrada polisémica y equivalente monosémico de la palabra genuino.....	29
Figura 5.5 Sistemas operativos disponibles para instalación.....	29
Figura 5.6 Diagrama esquemático de conexión para prototipo.....	30
Figura 5.7 Representación de Raspberry Pi señalando su conexión dedicada para pantalla.....	30
Figura 5.8 Muestra de salida de consola y presentación de pictogramas.....	34
Figura 5.9 Porcentaje de pictogramas presentados en 100 frases para las pruebas locales.....	35
Figura 5.10 Prueba de funcionamiento con Raspberry Pi 4 y pantalla transparente.....	36
Figura 5.11 Muestra de funcionamiento con Raspberry pi 4 y pantalla DSI.....	37
Figura 6.1 Respuesta obtenida de los participantes referente al cambio de pictogramas.....	45
Figura 6.2 Respuesta obtenida de los participantes referente Al uso en situaciones especifica.....	45
Figura 6.3 Respuesta obtenida de los participantes referente a la recomendación del uso.....	45
Figura 6.4 Porcentaje de frases adecuadas de acuerdo su estructura gramatical.....	46

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

La discapacidad es una condición que afecta a un sector de la población en México, esta se caracteriza por limitar alguna actividad común del individuo. Esta limitación puede ser temporal o permanente como consecuencia de alguna deficiencia física, sensorial, o como secuela de alguna enfermedad, evento o accidente (ISSSTE, 2023). Las personas en esta condición pueden presentar discapacidad visual, auditiva, motriz, intelectual y mental o psicológica.

Aunque cada discapacidad afecta a las personas de diferente forma, las limitaciones que afectan al habla o la comunicación impiden la correcta transmisión de ideas, sentimientos o expresiones que le permiten interactuar con su medio, ya sea personal, laboral, educativo o social.

En México, según datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI, la población con discapacidad asciende a 5,739,270 personas, de las cuales el 12.1% presenta sordera. Las estadísticas indican que el 13.4% de las personas sordas nacen con esta condición, mientras que el 25% la adquiere debido a una enfermedad, el 9% como consecuencia de un accidente, el 44.5% por envejecimiento y el 6.5% por otras causas (PJECH, 2025).

La comunidad sorda en México utiliza la Lengua de Señas Mexicanas (LSM) como primera lengua, esta será adquirida principalmente por aquellas personas que nacen sordas, mientras que algunos otros podrán adquirirla posteriormente a la pérdida de la audición. Las personas sordas que hablan LSM se les considera bilingües debido a que su educación incluye el aprendizaje del español que se habla en México. Su lengua consiste en una serie de signos gestuales articulados con las manos y acompañados de expresiones faciales, mirada intencional y movimiento corporal, dotados de función lingüística.

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación, en 2005 se publica la Ley General de las Personas con Discapacidad donde se define la lengua de señas y se establecen los derechos de la comunidad sorda (Gobierno de México, 2025). Tomando esta fecha como punto de partida al reconocimiento de la lengua, encontramos una lengua relativamente joven donde la información relacionada a la LSM es escasa o en algunos casos obsoleta (Cruz Aldrete, 2008).

A pesar de los esfuerzos por mejorar el acceso educativo para la población sorda en México, sólo 21 de cada 100 personas sordas de entre 3 y 29 años asisten a la escuela, y en promedio, 47% únicamente completan hasta el cuarto grado de

primaria. Además, cerca del 30% de esta comunidad no sabe leer ni escribir, lo que dificulta su acceso a un empleo digno y bien remunerado. Como resultado, solo 29.9% de las personas sordas en el país forman parte de la población económicamente activa, lo que refleja la necesidad urgente de políticas públicas que garanticen su inclusión y oportunidades de desarrollo (PJEZ, 2025).

Las tecnologías y dispositivos actuales han avanzado en accesibilidad para diversas discapacidades, aunque aún son pocas las soluciones que integran las lenguas de señas. Existen distintos tipos de herramientas diseñadas para mejorar la comunicación, desde opciones básicas como tableros y pictogramas, hasta sistemas más sofisticados como la síntesis de voz e implantes cocleares. El propósito de estos dispositivos es mejorar la calidad de vida, impulsar la inclusión social y fortalecer la autonomía, el desarrollo personal, educativo y laboral de quienes tienen limitaciones en el habla o alguna discapacidad relacionada con la comunicación.

Este trabajo propone un prototipo que pueda ser utilizado por personas sordas para entender la lengua oral de los individuos hablantes a su alrededor. Su principal función es ser un intérprete de la Lengua de Señas Mexicanas a partir de la voz.

A pesar de las limitantes tanto en información como en tecnología, se propone un método que busca replicar el uso de la LSM tomando como elemento auxiliar la transcripción de la voz con herramientas de conversión a texto (*speech to text*), procesamiento del lenguaje natural (PLN) y el uso de pictogramas existentes.

1.2. Descripción del problema

La comunicación es un aspecto fundamental en la vida de todo individuo. Sin embargo, la falta de conocimiento de la Lengua de Señas Mexicana entre la población general limita las oportunidades de interacción de las personas sordas, quienes dependen de este medio para relacionarse. Aunque la presencia de intérpretes facilita la comunicación, resulta imposible contar con uno en cada situación cotidiana, lo que genera una barrera persistente entre personas sordas y oyentes.

Por lo que el problema consiste en: Determinar una forma de comunicación, que reciba y transforme un mensaje oral a la Lengua de Señas Mexicanas.

1.3. Objetivo general

Comunicar a una persona oyente con una sorda unidireccionalmente, a través de pictogramas en un dispositivo intérprete.

1.4. Objetivos específicos

- Estudiar literatura relacionada a sistemas inteligentes que analicen y reconozcan la lengua de señas mexicana.

- Analizar hardware relacionado para el desarrollo del prototipo y combinar con un sistema de reconocimiento de voz.
- Utilizar una base de datos existente que contiene pictogramas referentes al lenguaje de señas mexicanas.
- Examinar el desempeño del prototipo a través de indicadores numéricos y percepción de los usuarios.

1.5. Justificación

La población mundial actual es de más de 8,000 millones de personas (worldometers, 2023), de las cuales, el 15% sufre algún tipo de discapacidad (OMS, 2023).

De acuerdo con la OMS, *“Esta cifra está aumentando debido al crecimiento de las enfermedades no transmisibles y a la mayor duración de la vida de las personas. Las personas con discapacidad constituyen un grupo diverso, por lo que sus experiencias vitales y a sus necesidades en materia de salud se ven afectadas por factores como el sexo, la edad, la identidad de género, la orientación sexual, la religión, la raza, la etnia y la situación económica. Las personas con discapacidad mueren antes, tienen peor salud y experimentan más limitaciones en su actividad cotidiana que las demás”*(OMS, 2023).

La falta de acceso a las tecnologías o la falta de adecuaciones para este sector, pueden representar un obstáculo al desarrollo de cada individuo.

Para las personas con discapacidad, la comunicación es especialmente importante, ya que facilita el acceso a la información, la educación, la salud, el trabajo y la inclusión social. Sin embargo, muchas personas con discapacidad enfrentan barreras para comunicarse debido a la falta de accesibilidad, adaptación o apoyo. Por eso, el uso de las tecnologías es clave para mejorar la calidad de vida y fomentar su autonomía.

1.6. Alcances y limitaciones

Alcances

- Presentar un prototipo que pueda reconocer la voz y procesarla, procesar texto y presentar pictogramas.
- El prototipo presenta de forma gráfica las palabras del interlocutor con un retraso mínimo para el receptor.
- Presenta los pictogramas usando el orden gramatical sujeto-objeto-verbo (SOV) o tiempo-lugar-sujeto-objeto-verbo (TLSOV).
- El dispositivo presenta la información gráfica solo una persona.

- El prototipo funciona frente a frente con el interlocutor.

Limitaciones

- No se modifica ningún algoritmo de reconocimiento de voz.
- El prototipo no funciona con más de un interlocutor a la vez.
- Las imágenes utilizadas están limitadas al conjunto de datos disponibles.
- No se utiliza realidad aumentada.
- El prototipo está sujeto a la tecnología disponible que pueda adquirirse.

1.7.Organización de la tesis

Este trabajo de tesis se encuentra dividido en nueve capítulos, en los cuales se describe el trabajo de investigación realizado:

- Capítulo 1. Introducción: Presenta el panorama general de la investigación, la problemática detectada, los objetivos a alcanzar, la justificación del proyecto, así como sus alcances y limitaciones.
- Capítulo 2. Marco conceptual: Expone los fundamentos teóricos y conceptos clave necesarios para la comprensión del proyecto, abarcando desde la naturaleza de la Lengua de Señas Mexicana (LSM) hasta las tecnologías de procesamiento de lenguaje natural y voz a texto.
- Capítulo 3. Estado del arte: Analiza las soluciones propuestas en la literatura, estableciendo el contexto actual en esta área.
- Capítulo 4. Estado de la técnica: Analiza las soluciones tecnológicas existentes en las patentes relacionadas con sistemas de interpretación de lenguas de señas, estableciendo el contexto actual del desarrollo tecnológico en esta área.
- Capítulo 5. Metodología: Describe el proceso de desarrollo dividido en cinco fases, que incluyen la revisión documental, la selección de hardware y software, el diseño de la arquitectura del prototipo y el protocolo de validación mediante pruebas con usuarios.
- Capítulo 6. Resultados: Expone los datos obtenidos tras la ejecución de las pruebas con personas oyentes y sordas, evaluando el desempeño del sistema frente a los objetivos planteados.
- Capítulo 7. Hallazgos: Expone los datos relevantes encontrados y confirmados en el estado del arte hasta las pruebas realizadas.

- Capítulo 8. Discusión: Expone la interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas.
- Capítulo 9. Conclusiones: Responde a los objetivos planteados tomando en cuenta los alcances, las limitaciones, resultados y hallazgos.

Capítulo 2

Marco conceptual

Este capítulo expone los diferentes conceptos teóricos requeridos para la comprensión de la problemática y la solución que se desarrolló a lo largo de la investigación.

2.1. Lengua de Señas Mexicanas (LSM)

La Lengua de Señas Mexicana (LSM) es una lengua natural, visual y gestual, importante para la comunicación de la comunidad sorda en México. Se compone de una serie de signos gestuales articulados principalmente con las manos, pero que son enriquecidos y dotados de significado lingüístico por las expresiones faciales, la mirada intencional y el movimiento corporal (Gobierno de México, 2025).

La LSM no es simplemente un conjunto de gestos; es una lengua completa y compleja, con su propia gramática y vocabulario tan diverso como cualquier lengua oral (Figura 2.1). Forma parte esencial del patrimonio lingüístico de la comunidad sorda mexicana (CONADIS, 2025).

Para la gran mayoría de las personas que nacen sordas o adquieren la sordera en la infancia o juventud, la LSM es mucho más que un medio de comunicación; es su lengua materna. Es el idioma a través del cual articulan sus pensamientos y emociones, satisfacen sus necesidades comunicativas y desarrollan al máximo sus capacidades cognitivas mientras interactúan con el mundo que les rodea (López García et al., 2006).



Figura 2.1 Signo que representa a la Lengua de Señas Mexicanas

2.2. Herencia lingüística

La herencia lingüística se refiere a una lengua que es transmitida a un individuo en el seno de su familia o comunidad de origen, pero que no es necesariamente la lengua dominante en la sociedad o región donde reside. Es, en esencia, la lengua patrimonial que una persona "hereda" a través de sus raíces culturales y familiares, aunque su dominio de esta puede variar considerablemente (Corte, 2013).

Este concepto es especialmente relevante en contextos de migración o para comunidades minoritarias, donde la lengua de herencia (a menudo una lengua indígena, una lengua de señas, o una lengua extranjera hablada por inmigrantes) es hablada en casa o en la comunidad, mientras que otra lengua es la que predomina en la esfera pública, educativa y social. La conexión con esta lengua de herencia va más allá de la mera habilidad lingüística, abarcando también un profundo vínculo cultural y de identidad con las generaciones pasadas (Corte, 2013).

2.3. Intérprete

En el contexto de la Lengua de Señas Mexicana (LSM), un intérprete de LSM es un profesional altamente calificado que actúa como un puente de comunicación entre personas sordas que utilizan la LSM y personas oyentes que hablan español (figura 2.2) (o cualquier otra lengua oral), y viceversa. Su labor principal es interpretar mensajes de la forma más correcta y culturalmente apropiada entre ambas lenguas (Castillo, 2021).

Más allá de la transcripción de palabras, un intérprete de LSM domina en su mayoría tanto la gramática y el vocabulario de la Lengua de Señas Mexicana como los de la lengua oral, y es capaz de transmitir no solo el contenido literal, sino también el tono, la intención, el humor y los matices culturales de la comunicación (Triana, 2019).



Figura 2.2 Profesional intérprete de la LSM

2.4. Signos

Un signo, en el contexto del lenguaje y la comunicación, es una unidad mínima que representa o evoca una idea, concepto o cosa. Funciona como un sustituto que permite comunicar algo sin que ese algo esté presente físicamente. Los signos son la base de cómo el ser humano entiende el mundo y se comunica con él (Medina, 2015).

Los signos pueden manifestarse de diversas formas, y es fundamental entender sus diferencias, especialmente al hablar de la Lengua de Señas Mexicana (LSM):

- Signos Escritos (Letras): En lenguas orales que usan un sistema de escritura alfabético, como el español, las letras son signos gráficos que representan sonidos. Por sí solas, una letra como "a" o "b" tiene un valor fonético y se combina con otras para formar palabras que, a su vez, son signos más complejos.
- Signos Gestuales (Señas en LSM): En el caso de la LSM, las señas son los signos primarios. Una seña es una unidad lingüística visual y gestual que transmite un significado completo. A diferencia de las letras que representan sonidos, una seña representa directamente una palabra, un concepto, o incluso una frase (figura 2.3). Una seña se articula con movimientos específicos de las manos, la configuración manual, la orientación, la ubicación en el espacio y, crucialmente, las expresiones faciales y corporales que la acompañan.

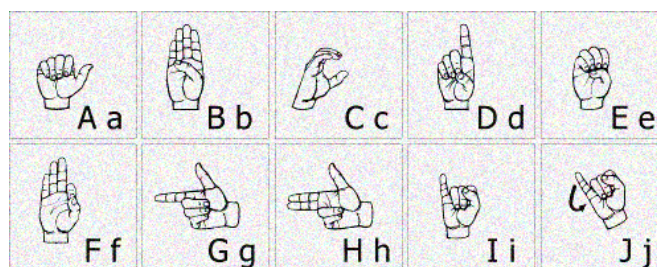


Figura 2.3 Signos del abecedario escrito y en LSM

2.5. Comunicación

La comunicación en el contexto de la Lengua de Señas Mexicana (LSM) es un proceso dinámico y esencial para la comunidad sorda, que consiste en la creación de un vínculo visual y gestual entre el emisor y el receptor del mensaje, en un tiempo y espacio compartidos (figura 2.4). El objetivo es intercambiar, compartir o transmitir ideas, información y significados que ambos participantes puedan entender plenamente (Gómez, 2016).

A diferencia de la comunicación oral, donde los sonidos son los portadores del mensaje, en la LSM, los signos, gestos, expresiones faciales y movimientos corporales se convierten en los portadores principales de la información. Este proceso exige que tanto el emisor (quien está signando) como el receptor (quien está observando e

interpretando) estén sincronizados visualmente y comprendan el sistema lingüístico y cultural de la LSM.

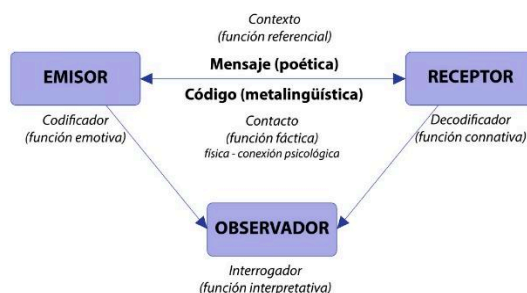


Figura 2.4 Representación de la comunicación involucrando al intérprete (Triana, 2019)

2.6. Dispositivo

Se refiere a cualquier herramienta, equipo o sistema diseñado para asistir, mejorar o reemplazar las capacidades comunicativas de personas con dificultades para hablar o escuchar. Estos dispositivos facilitan la expresión o recepción de información, permitiendo a los individuos participar activamente en la comunicación. Ejemplos incluyen audífonos, implantes cocleares, comunicadores aumentativos y alternativos (CAA) que generan voz, o aplicaciones y tecnologías que apoyan la producción o comprensión de la LSM (Consumidor, 2025).

2.7. Sensores

Un sensor es un componente crucial que permite a la tecnología detectar y medir información relevante del entorno o del usuario, para luego transformarla en señales que el dispositivo pueda interpretar y utilizar para asistir en la comunicación, la movilidad o el acceso. Estos sensores actúan como los "sentidos" del dispositivo, captando datos que son vitales para mejorar la calidad de vida y la autonomía (Estrada et al., 2024).

Estos sensores son fundamentales para crear dispositivos inteligentes y adaptativos que respondan a las necesidades específicas de las personas con discapacidad. Por ejemplo, pueden detectar la posición de un ojo para un comunicador ocular, la presión o el movimiento para una silla de ruedas controlada por joysticks, la presencia de voz para asistentes de comunicación, o cambios en el entorno para sistemas de navegación autónoma. Al combinar estas capacidades de detección con otros componentes del dispositivo, como microcontroladores o actuadores, se desarrollan soluciones tecnológicas que permiten a las personas con discapacidad interactuar más eficazmente con su entorno y superar barreras comunicativas y físicas (Estrada et al., 2024).

2.8. Unidad de procesamiento

En el contexto de los dispositivos electrónicos, una unidad de procesamiento se refiere al cerebro del sistema, el componente encargado de ejecutar instrucciones, realizar cálculos y coordinar las operaciones de todos los demás elementos. Es el encargado de tomar las entradas (de sensores, por ejemplo), procesarlas según la lógica programada y generar las salidas (hacia actuadores u otros dispositivos). En la actualidad la gran mayoría de los dispositivos muestran información de forma visual sobre pantallas con información necesaria (Smalley, 2024).

2.9. API

Una API, o Interfaz de Programación de Aplicaciones, es un conjunto de reglas y herramientas que permiten que diferentes programas de software se comuniquen entre sí. Puede entenderse como un puente o un "camarero" que toma tu solicitud (de una aplicación) y la lleva a otro servicio o programa para que la procese, y luego devuelve la respuesta. Esto significa que una aplicación puede pedirle a otra que realice una tarea o le proporcione información sin necesidad de conocer los detalles internos de cómo la otra aplicación funciona (AWS, 2025).

Las APIs son fundamentales para la forma en que funciona gran parte de la tecnología hoy en día. Permiten la integración y la reutilización de funcionalidades, haciendo posible que aplicaciones diversas, como una de viajes y una aerolínea, o un juego y una red social, compartan datos y servicios de forma segura y eficiente. Son la columna vertebral de la interconectividad digital, facilitando la construcción de sistemas más complejos y la automatización de procesos sin tener que empezar desde cero.

2.10. Voz a texto (*Speech to text*)

Voz a texto (también conocido como Speech to Text) es una tecnología que convierte el lenguaje hablado en texto escrito. Este proceso se logra mediante algoritmos y modelos de inteligencia artificial que analizan las ondas sonoras del habla, identifican los patrones de sonido correspondientes a fonemas, palabras y frases, y luego transcriben esa información en caracteres de texto digital (Google Cloud, 2025).

Esta tecnología tiene una amplia gama de aplicaciones, desde asistentes de voz en smartphones (como Siri o Google Assistant) y sistemas de dictado para crear documentos sin usar el teclado, hasta la transcripción automática de reuniones, podcasts o videos. Para personas con ciertas discapacidades, como aquellas con movilidad limitada que les dificulta escribir, o para quienes se les facilita más la expresión oral que la escrita, la voz a texto se convierte en un dispositivo de apoyo crucial que facilita la comunicación y el acceso a la información.

2.11. Procesamiento del lenguaje natural (PLN)

El Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), es una rama de la inteligencia artificial (IA) que se enfoca en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano. Su objetivo principal es dotar a las máquinas de la capacidad de comprender, interpretar, generar y manipular el lenguaje humano de una manera que sea útil y significativa (Vásquez et al., 2009).

En esencia, el PLN busca cerrar la brecha entre la forma en que los humanos se comunican (utilizando lenguajes naturales como el español o el inglés, llenos de matices, ambigüedades y contexto) y la forma en que las computadoras procesan la información (que es lógica y estructurada). Para lograrlo, el PLN utiliza una combinación de lingüística computacional (reglas y análisis del lenguaje), aprendizaje automático y modelos de aprendizaje profundo para analizar grandes volúmenes de datos de texto y voz, extrayendo significado, identificando intenciones y generando respuestas coherentes y relevantes.

Capítulo 3

Estado del arte

El capítulo muestra las dos perspectivas del estado del arte que aportan a la solución del problema, siendo los aspectos lingüísticos de las lenguas de señas, los sistemas de reconocimiento de lenguas de señas y patentes relacionadas a dispositivos de comunicación. La tabla 3.1 y 3.2 muestran el título del trabajo revisado, la lengua de señas a la que hace referencia el texto, en el caso de existir pruebas muestra cuales fueron y los resultados obtenidos de dichas pruebas.

3.1. Aspecto lingüístico

Los textos relacionados al aspecto lingüístico representan el entendimiento de la lengua de señas, características y gramática.

Tabla 3.1 Resumen de textos relacionados al aspecto lingüístico

Título	Lengua	Pruebas	Resultados
Mis manos que hablan (López García et al., 2006)	LSM	-	-
Gramática de la Lengua de Señas Mexicanas (Cruz Aldrete, 2008).	LSM	-	-
Manual De Gramática LSM (López B. et al., 2016).	LSM	-	-
A Crowdsourcing-Based Framework for the Development and Validation of Machine Readable Parallel Corpus for Sign Languages (Farooq et al., 2021).	PSL	50 personas para elaboración de corpus	700 palabras 8000 oraciones
Emergence and evolutions: Introducing sign language sociolinguistics (Kusters & Lucas, 2022).	ASL	-	-
Corpus for Indian Sign Language Recognition (Joshi et al., 2022).	ISL	Tres versiones del conjunto de datos (CISLR_v1.0-a, CISLR_v1.0-b y CISLR_v1.0-ab)	Exactitud 49.83%
Ten Things You Should Know About Sign Languages (Emmorey, 2023).	ASL	-	-
Argument Structure and Word Order in Saudi Sign Language (Altamimi & Alsager, 2023).	SSL	36 frases	Estructura SVO 50%, OVS 14%, OSV, 17%
El léxico Español - Lengua de Señas Mexicana: Un corpus bilingüe (María Teresa Calvo Hernández, 2012).	LSM	-	Equivalencias léxicas

3.2. Sistemas de reconocimiento de la lengua de señas

Los textos relacionados a los sistemas de reconocimiento de la lengua de señas mostrados, presentan principalmente reconocimiento por visión artificial, dispositivos, propuestas y revisiones de estos sistemas.

Tabla 3.2 Resumen de textos relacionados a los sistemas de reconocimiento del lenguaje de señas

Título	Lengua	Pruebas	Resultados
Las tecnologías de la información en el aprendizaje de la lengua de señas (Hernandez Suarez et al., 2015).	LSC	Niños sordos del Colegio Filadelfia	Reduce tiempo de aprendizaje en 30%
Traductor de texto y voz a lengua de señas ecuatoriana a través de un avatar implementado para dispositivos Android (Carguacundo & Constante, 2019)	LSE	10 personas	Eficiencia 95%
Text2Sign: Towards Sign Language Production Using Neural Machine Translation and Generative Adversarial Networks (Stoll et al., 2020).	ASL	Conjunto de datos PHOENIX14T	BLEU-4 de 16.34/15.26
A Comparative Review on Applications of Different Sensors for Sign Language Recognition (Amin et al., 2022).	SSL	Revisión de artículos	Muestra ventajas y desventajas en el uso de sensores
Indian Sign Language recognition system using SURF with SVM and CNN (Katoch et al., 2022).	ISL	4 personas	Precisión del 99%
Mobile Application with Augmented Reality to Improve the Process of Learning Sign Language (Cabanillas-Carbonell et al., 2022).	LSP	30 personas	Aumento en el aprendizaje de un 65%,
A Real-Time Automatic Translation of Text to Sign Language (Sanaullah et al., 2022).	LSP	15 estudiantes de entre 15 y 18 años.	Exactitud 80%
A Sign Language Recognition System Applied to Deaf-Mute Medical Consultation (Xia et al., 2022).	CSL	4000 datos de prueba	Precisión 90.77%
Facilitating the communication with deaf people: Building a largest Saudi sign language dataset (Alsulaiman et al., 2023).	SSL	17 conjuntos de datos de lenguas de señas árabes	Base de datos con 293 signos de 33 personas, 145 035 muestras en 10 dominios
A survey on Sign Language machine translation (Núñez-Marcos et al., 2023).	ASL	Revisión de la literatura	Concluye avances con el uso de aprendizaje profundo
Impacto del sistema para la enseñanza y traducción de la lengua de señas mexicana UAEMex en instituciones públicas (Rojas Hernández et al., 2023).	LSM	15 personas	Fortalezas internas 100%, oportunidades 90%, debilidades 68.33% y amenazas 72.5%

3.3. Patentes revisadas

Las patentes relacionadas a dispositivos, son una muestra de los trabajos tecnológicos desarrollados y registrados con el propósito de establecer algún medio de comunicación o presentación de información de manera visual. La tabla 3.3 muestra el número de patente, el título de la patente y una breve descripción de su contenido.

Tabla 3.3 Resumen de las patentes relacionadas a dispositivos

Número de patente	Título	Descripción
JP2014062320A	Foreign language learning system using smart spectacles and its method (チャン et al., 2015)	Proporcionar un sistema de aprendizaje de lenguas extranjeras utilizando gafas inteligentes.
WO2015017007A1	Integration of hearing aids with smart glasses to improve intelligibility in noise (PRUTHI & Chabot, 2015)	Métodos y aparatos para integrar audífonos con un dispositivo de visualización multisensorial (MSD) para mejorar la comprensión del habla en ambientes ruidosos.
PCTCN2014081282	Smart glasses and method of controlling same (杨久霞 et al., 2015)	Diseñadas para ayudar en la comunicación entre personas con discapacidades auditivas o del habla y personas sin estas discapacidades.
CN106205293A	For speech recognition and the intelligent glasses of Sign Language Recognition (石城川 & 陈国强, 2016)	Estas gafas están diseñadas para ayudar a las personas con discapacidades auditivas a comunicarse con facilidad con personas sin discapacidades, mejorando su integración social.
ES2631684T3	Dispositivo, sistema y método de comunicación de tipo gafa (Li et al., 2017)	Sistema de comunicaciones que se lleva en la cabeza, integrado en una montura de gafas, con múltiples módulos para diferentes funciones.
CN201710300244	It is a kind of to wake up method, smart machine and medium that smart machine carries out speech recognition (刘锐, 2020)	Método y dispositivos para despertar una máquina inteligente y realizar reconocimiento de voz sin necesidad de una palabra de activación.
US10268888B2	Method and apparatus for biometric data capture (Osterhout & Lohse, 2019)	Describe un dispositivo de realidad aumentada que incluye un montaje óptico a través del cual el usuario ve un entorno circundante y contenido mostrado.
ES2794573T3	Sistema y procedimiento de procesamiento de voz (Ash & Robinson, 2020)	Sistema para evaluar la fluidez y el dominio del idioma de un usuario mediante el procesamiento de la voz.
US16777256	Smart glasses (Adams et al., 2021)	Las gafas incluyen mecanismos de conexión que permiten conectar y desconectar de manera desmontable los brazos y las monturas, facilitando actualizaciones o reemplazos.
US11436829B2	Head-mounted display device for use in a medical facility (Cork et al., 2022)	El dispositivo está diseñado para interactuar con una máquina de procesamiento de sangre y asistir al usuario en el servicio de la máquina mediante la superposición de indicadores, texto e iconos basados en instrucciones.
US20220082843A1	Hybrid reflective/refractive head mounted display (Magyari, 2022)	El dispositivo utiliza un sistema óptico principalmente reflectante para proyectar contenido visual desde una fuente de visualización a los ojos del usuario.
CN218886714U	A intelligent glasses for speech recognition and sign language discernment (严晨雪 et al., 2023)	El modelo de utilidad revela unas gafas inteligentes para el reconocimiento del habla y el discernimiento del lenguaje de signos

Número de patente	Título	Descripción
US17572270	Head-mounted display apparatus for retaining a portable electronic device with display (Hoellwarth, 2023)	Sistema de visualización montado en la cabeza que permite acoplar y desacoplar un dispositivo electrónico portátil, como un smartphone, integrándolo temporalmente con un dispositivo montado en la cabeza para crear una sola unidad.

3.4. Análisis

3.4.1. Aspectos lingüísticos y sistemas de reconocimiento de las lenguas de señas

Los textos mencionados en el estado del arte, comenzando con los referentes a los aspectos lingüísticos, muestran las características semejantes de las lenguas de señas con respecto a su contraparte en lenguas orales. La tabla 3.4 muestra conceptos necesarios que apoyan el entendimiento del análisis.

Las lenguas de señas son lenguas naturales complejas con gramática, sintaxis, morfología y fonología, pero todo a través de un canal viso-gestual. Utilizan el espacio del tronco corporal hasta la punta de la cabeza como un espacio signante, donde los gestos faciales y corporales forman parte del signo. Las tesis escritas por Cruz Aldrete (2008), Calvo María Teresa (2012) y el libro de López B. (2016) muestran claramente las semejanzas léxicas entre la lengua oral y la de señas en México, aunque sí existe una diferencia en cuanto a la estructura gramatical, siendo la forma más simple de estas sujeto-objeto-verbo (SOV) presentando la acción del sujeto al final. Otro elemento observado se encuentra en la similitud de su forma escrita, donde las palabras no poseen una conjugación (lema) y el tiempo del verbo se expresa como futuro o pasado (el presente no se expresa, se da por hecho) dándole sentido de tiempo al verbo expresado en la oración.

Las lenguas de señas son tan diversas como las lenguas orales y al tratarse de lenguas vivas cambian con el tiempo, los signos pueden variar en cada persona, se enriquecen con el contacto de otras lenguas y presentan regionalismos (Altamimi & Alsager, 2023; López García et al., 2006). Tomando en cuenta lo anterior es entendible la característica de iconicidad donde la representación del signo está ligada al significado (Emmorey, 2023).

Los artículos referentes a esta categoría coinciden en algo; para poder trabajar las lenguas de señas es necesario tener un corpus, por consiguiente, cualquier tarea se vuelve compleja sin la base que represente a la lengua (Farooq et al., 2021). Estos trabajos realizan el aporte de estudiar, reunir y analizar corpus de texto y de video teniendo la certeza de los datos al ser revisados por expertos lingüistas y personas hablantes de las lenguas de señas.

Desafortunadamente este tipo de materiales validados son prácticamente inexistentes en la LSM y se hace referencia a algunos sistemas de figuras que pueden utilizarse para representar los signos de la lengua, destacando HamNoSys (Hamburg Notation System) que es un sistema de transcripción fonética para lenguas de señas,

desarrollado en 1984 por la Universidad de Hamburgo y SignWriting, un sistema de escritura para lenguas de señas que permite representar los movimientos y configuraciones de las manos de manera visual, fue desarrollado por Valerie Sutton en 1974 y se usa en diversas comunidades sordas para documentar y enseñar lenguas de señas (Farooq et al., 2021).

Los textos referentes a los sistemas de reconocimiento presentan diversidad tomando en cuenta que algunos de ellos son dispositivos de comunicación bidireccional como el trabajo de Xia (2022), mientras que otros solo realizan la detección de señas mediante visión por computadora (Amin et al., 2022). La mayoría de ellos obtiene resultados con vocabularios limitados, principalmente abecedario y algunas palabras (Alsulaiman et al., 2023; Núñez-Marcos et al., 2023). Cabe destacar que la mayoría de estos sistemas no realizan una concatenación de palabras o buscan reconstruir una frase que las personas oyentes manejan en su lengua. Otro aspecto para destacar es el uso de la palabra “traducción”, siendo un término erróneo debido a la diferencia existente en las lenguas de señas y las lenguas orales, esto puede comprobarse fácilmente con el hecho de nombrar a las personas que realizan estos traslados de la lengua como “intérpretes” y no “traductores”.

Tabla 3.4 Conceptos importantes relacionados a las lenguas

Concepto	Definición
Gramática	Conjunto de reglas que organizan y regulan el uso de una lengua (Cruz Aldrete, 2008).
Sintaxis	Estructura y orden de las palabras y signos para formar oraciones con sentido (Cruz Aldrete, 2008).
Morfología	Estudio de la forma de las palabras y cómo se componen a partir de raíces (Cruz Aldrete, 2008).
Fonología	Análisis de los sonidos de una lengua y sus funciones distintivas, este concepto también se utiliza para las lenguas de señas refiriéndose a los aspectos visuales que forman el signo (Cruz Aldrete, 2008).
Canal viso-gestual	Medio de comunicación de las lenguas de señas, basado en movimientos manuales, expresiones faciales y corporales (Cruz Aldrete, 2008).
Espacio signante	Área frente al cuerpo del hablante de señas donde se realizan los signos y se organizan relaciones sintácticas, su extensión comprende desde la punta de la cabeza, hasta la cintura de cada persona (Cruz Aldrete, 2008).
Lema	Forma base de una palabra, sin flexiones; ej. “correr” como lema de “corriendo” (María Teresa Calvo Hernández, 2012).
Corpus	Colección sistemática de textos o datos lingüísticos usada para análisis e investigación (Farooq et al., 2021).

3.4.2. Patentes revisadas

Las patentes revisadas muestran una clara tendencia hacia la integración de tecnologías portátiles, como las gafas inteligentes, con sistemas de reconocimiento de voz, lengua de señas y audífonos. Estas innovaciones tienen como objetivo principal reducir las barreras de comunicación, especialmente para personas con discapacidades auditivas o del habla, facilitando la interacción social en entornos cotidianos y profesionales (Ash & Robinson, 2020; 严晨雪 et al., 2023; 杨久霞 et al., 2015; 石城川 & 陈国强, 2016). Ejemplos clave son las patentes que integran audífonos con gafas inteligentes para mejorar la inteligibilidad del habla en ambientes ruidosos o aquellas que permiten la traducción entre voz y señas, lo que representa un paso decisivo en la inclusión social y educativa(チャン et al., 2015; 严晨雪 et al., 2023).

En el periodo más reciente, se observa un refinamiento de estas tecnologías, pasando de soluciones experimentales hacia dispositivos más completos que combinan múltiples modalidades de comunicación (voz, texto, señas, visualización aumentada) (Hoellwarth, 2023; Magyari, 2022; 严晨雪 et al., 2023). Esto no solo mejora la precisión y accesibilidad, sino que también responde a la necesidad de interacción en tiempo real, esencial en la vida diaria de las personas con discapacidad. La evolución tecnológica también incorpora la modularidad y la posibilidad de actualización de hardware, lo que garantiza que los dispositivos se adapten a las necesidades cambiantes de los usuarios (Adams et al., 2021).

El impacto social de estas tecnologías es significativo, su implementación no se limita al ámbito médico (Cork et al., 2022), sino que se extiende a la educación, el trabajo y la vida comunitaria. Dispositivos como los que reconocen tanto voz como señas son cruciales para derribar las barreras de comunicación bidireccional, permitiendo que personas sordas o mudas participen de manera más activa en la sociedad(严晨雪 et al., 2023; 石城川 & 陈国强, 2016). En conjunto, estas innovaciones reflejan un movimiento hacia la creación de entornos más inclusivos, en los que la tecnología no solo potencia la comunicación, sino que actúa como un puente entre mundos previamente separados por la discapacidad.

Capítulo 4

Estado de la técnica

Esta sección tiene la finalidad de mostrar la revisión al software y hardware disponible para la elaboración del prototipo tomando en cuenta lo encontrado en el estado del arte, especialmente en los aspectos lingüísticos.

4.1. Revisión de software disponible

El objetivo es proponer herramientas adecuadas capaces de transformar la voz a texto con la mayor precisión posible para el español que se habla en México, siendo la base de proceso para transformar voz a signos que representan la LSM. También, se requiere el procesamiento del texto con algún modelo pre-entrenado para procesamiento de lenguaje natural (PLN) en español, capaz de realizar las funciones básicas de tokenizar (dividir el texto en unidades mínimas como palabras o signos), lematizar (reducir las palabras a su forma base o lema), eliminar *stopwords* (quitar palabras muy frecuentes que no aportan significado, como “el”, “la”, “de”), y POS (*Parts of Speech*, clasificación gramatical de las palabras como sustantivos, verbos, adjetivos). Por último es necesario una base de datos que resguarde los pictogramas propuestos.

Se propone el uso de Python, siendo una herramienta adecuada para comenzar con el desarrollo de soluciones en procesamiento de lenguaje natural (PLN). Su sintaxis accesible y su robusto ecosistema de librerías especializadas como spaCy, NLTK y Transformers, que permiten implementar funcionalidades lingüísticas de forma eficiente y reproducible. Además, Python es compatible con múltiples sistemas operativos y arquitecturas de hardware, incluyendo x86, x64 y ARM (Python.org, 2025; Raspberry Pi, 2025), siendo esta última una arquitectura en rápida expansión debido a su eficiencia energética y adopción en dispositivos móviles, Raspberry Pi y servidores de alto rendimiento.

4.1.1. Python Speech Recognition

Esta librería de Python cuenta con diferentes motores para el reconocimiento de voz y su transformación a texto, los cuales pueden estar disponibles mediante modelos o APIs libres y de pago. El uso de estos puede ser local o con una conexión a internet (Anthony Zhang, 2024).

La tabla 4.1 muestra las características principales de los motores disponibles que no requieren suscripción o pago para ser utilizados. Algunos de ellos requieren un modelo pre entrenado que se encuentra disponible en sus páginas oficiales.

Como puede observarse, “Google Speech Recognition” es el único que requiere conexión a internet debido a que el proceso se realiza en sus servidores mediante una API, esto quiere decir, que los otros motores funcionan de forma local mediante un modelo preentrenado y por consiguiente se requieren algunos requisitos extra de configuración. Todos los motores soportan diferentes idiomas incluido el español y en el caso de “CMU Sphinx” depende del modelo a utilizar.

Tabla 4.1 Resumen de motores Open Source

Motor	Conexión a Internet	Precisión	Requisitos Adicionales	Idiomas Soportados	Español (MX)
CMU Sphinx	No	Media	Configuración y entrenamiento de modelos	Varios (depende de los modelos entrenados)	Sí
Google Speech Recognition	Sí	Alta	Ninguno	Más de 125	Sí
Vosk API	No	Alta	Instalación de modelos Vosk	Más de 20	Sí
OpenAI Whisper	No	Muy alta	Instalación y configuración	99	Sí

La tabla 4.2 muestra las APIs que requieren una suscripción para poder utilizar sus modelos de reconocimiento de voz. A pesar de que pueden ser muy buenos, el acceso a un API Key está condicionado al pago del servicio. Todos tienen reconocimiento de voz en español.

Tabla 4.2 Resumen de motores de paga

Motor	Conexión a Internet	Precisión	Requisitos Adicionales	Idiomas Soportados	Español (MX)
Google Cloud Speech API	Sí	Muy alta	Cuenta de Google Cloud	Más de 125	Sí
Microsoft Azure Speech	Sí	Muy alta	Cuenta de Azure	Más de 100	Sí
IBM Speech to Text	Sí	Muy alta	Cuenta de IBM Cloud	15	Sí
Whisper API	Sí	Muy alta	Cuenta de OpenAI, clave API	100	Sí

4.1.2. Python NLTK y spaCy

Tanto NLTK (*Natural Language Toolkit*) como spaCy son librerías fundamentales para el procesamiento de lenguaje natural (PLN) en Python, y ofrecen herramientas eficaces para el análisis lingüístico en español.

NLTK proporciona una amplia colección de recursos lingüísticos, incluyendo corpus anotados, reglas gramaticales y funciones para realizar análisis léxico, etiquetado gramatical y análisis sintáctico. Para trabajar con español, NLTK permite cargar corpus específicos y realizar tareas como la tokenización y el análisis morfosintáctico, aunque depende en gran medida de recursos manuales y modelos estadísticos menos entrenados en variantes modernas del idioma (NLTK Project, 2025).

Por su parte, spaCy se destaca por su rendimiento y precisión gracias a sus modelos entrenados previamente. El modelo `es_core_news_sm` es el modelo más pequeño que está optimizado para CPU y el idioma español. Permite realizar tareas como segmentación de oraciones, lematización, etiquetado gramatical (PoS tagging) y análisis de dependencias. Este modelo ha sido entrenado con corpus en español (UD Spanish AnCor v2.8 y WikiNER), lo que lo hace especialmente útil para investigaciones que requieren una comprensión de estructuras lingüísticas (Explosion, 2024).

4.1.3. SQLite

SQLite es un motor de base de datos relacional compacto, rápido y confiable, escrito en lenguaje C. Su principal característica es ser autocontenida y sin necesidad de servidor, lo que la convierte en una opción popular para aplicaciones móviles, navegadores, sistemas embebidos y proyectos de escritorio. Su formato de archivo es estable, multiplataforma y compatible con versiones anteriores, con soporte garantizado hasta el año 2050. Hoy en día, es uno de los motores de base de datos más utilizados del mundo, con más de un billón de bases de datos activas (SQLite, 2025).

Python incluye soporte nativo para SQLite a través del módulo estándar `sqlite3` (Charles Leifer, 2024). Esto permite crear, consultar y administrar bases de datos directamente desde scripts sin requerir instalaciones adicionales. Su uso es ideal para tareas como:

- Almacenamiento local de datos estructurados
- Prototipado de aplicaciones web o de escritorio
- Persistencia en proyectos con Raspberry Pi u otros dispositivos ARM

4.2. Revisión de hardware disponible

Esta sección es una investigación del hardware disponible en el mercado que cumpla con las características suficientes para soportar el software propuesto anteriormente, tomando en cuenta que las arquitecturas ARM han ganado terreno en la construcción de gran número de dispositivos que utilizamos en la actualidad.

La tabla 4.3, muestra 6 módulos de procesamiento disponibles en el mercado con características diversas y que pueden ser suficientes para el desarrollo del prototipo, realizando la tarea de procesamiento de la información. El procesador, memoria ram, puertos de conectividad o conectividad inalámbrica para acceso a internet, almacenamiento y software compatible son las principales características. Las salidas de video no se consideran tan relevantes ya que se puede agregar, de igual manera el almacenamiento que es externo y depende de una memoria de capacidad a elegir.

De los elementos mostrados en la tabla 4.3 “Orange Pi Zero 2W” y “Raspberry Pi 4” cuentan con características semejantes en velocidad de procesador, memoria ram, conectividad y puertos para conectividad. Tomando en cuenta la librería Spacy de python y que estas dos tarjetas soportan el sistema operativo Linux, donde Python ya se encuentra incluido, ofrecen una opción viable para usar en el prototipo.

Tabla 4.3 Comparación de hardware de adquisición de datos

Característica	Orange Pi Zero 2W	Raspberry Pi Zero 2W	Orange Pi 5	Raspberry Pi 4	ESP32	nRF52840
Procesador	Allwinner H618 Quad-core Cortex-A53 a 1.5 GHz	Broadcom BCM2710A1 Quad-core Cortex-A53 a 1.0 GHz	Rockchip RK3588S Quad-core Cortex-A55 a 1.8 GHz	Broadcom BCM2711 Quad-core Cortex-A72 a 1.5 GHz	Xtensa LX106 Dual-core a 320 MHz	ARM Cortex-M4F a 24 MHz
Memoria RAM	1GB, 1.5GB, 2GB o 4GB	512MB	4GB, 8GB o 16GB	1GB, 2GB, 4GB u 8GB	8MB a 32MB	16kB a 64kB
Almacenamiento	Ranura para tarjeta microSD de hasta 64GB	Ranura para tarjeta microSD de hasta 32GB	Ranura para tarjeta microSD de hasta 128GB	Ranura para tarjeta microSD de hasta 64GB	Flash integrado de hasta 4MB	Flash integrado de hasta 512kB
Conectividad	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 5.0	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2	WiFi 6E (802.11ax), Bluetooth 5.0, Ethernet 10/100/1000 Mbps	WiFi 802.11 b/g/n/ac, Bluetooth 5.0, Ethernet 10/100/1000 Mbps	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2	Bluetooth 5.2
Puertos	2x USB 2.0, 1x Mini HDMI, 1x GPIO de 40 pines	1x USB 2.0, 1x Mini HDMI, 1x GPIO de 40 pines	2x USB 3.0, 1x USB 2.0, 1x Gigabit Ethernet, 1x HDMI 2.0, 1x MIPI DSI, 1x CSI	2x USB 2.0, 2x Micro HDMI, 1x GPIO de 40 pines	USB 2.0, GPIO, SPI, I2C, UART	GPIO, SPI, I2C, UART
Vídeo	Salida HDMI hasta 4K a 60 fps	Salida HDMI hasta 1080p a 60 fps	Salida HDMI hasta 4K a 60 fps	Salida HDMI hasta 4K a 60 fps	No tiene salida de vídeo	No tiene salida de vídeo
Software	Compatible con Linux, Android y Windows IoT	Compatible con Linux, Android y Raspbian	Compatible con Linux, Android y varios sistemas operativos embebidos	Compatible con Linux, Android y Raspbian	Compatible con Arduino IDE	Compatible con nRF Connect SDK

La tabla 4.4, muestra 2 pantallas propuestas que servirán de interfaz visual para la muestra de pictogramas y texto. Donde la pantalla OLED se encuentra en un formato transparente y la pantalla DSI para Raspberry es un formato tradicional de pantalla a color que es conectada directamente al puerto asignado en esta tarjeta. Las resoluciones son muy distintas en cuanto a la unidad de medida en Píxeles. Cabe destacar que cada una tiene diferentes propósitos de uso, siendo la pantalla de Raspberry la más generalizada.

Tabla 4.4 Comparación de hardware para visualización de datos

Característica	OLED transparente (SSD1309)	Pantalla DSI (Raspberry Pi 4)
Interfaz	SPI / I ² C (señales = 3.3 V) + alimentación de panel ≈ 12 V (step-up)	DSI ribbon (conector MIPI DSI nativo de la Pi)
Controlador	SSD1309 (controlador de OLED)	Controlador integrado específico del panel; soporte directo en GPU de la Pi
Resolución típica	128 × 64 (puede variar; monocromo)	Varía (común: 800×480, 1280×720, 1920×1080 según modelo) — color verdadero (RGB)
Tipo de imagen	Monocromo (1 bit por píxel) — pictogramas/texto	Color completo (24 bit), imágenes/GUI/video fluidos
Brillo / contraste	Alto contraste para monocromo; brillo limitado por diseño TOLED	Alto brillo, control de retroiluminación y contraste para color
Alimentación (lógica)	3.3 V para señales; módulo puede requerir 3.3–5 V para alimentar step-up	5 V (desde conector de alimentación de la Pi) — la pantalla DSI a menudo toma energía desde la Pi
Alimentación (panel)	Panel requiere ≈12 V (interno o por step-up en el módulo) — consumo variable según área encendida	Panel y retroiluminación consumen varios cientos de mA a 1–2 A dependiendo tamaño/BR
Integración	Funciona por SPI/I ² C; ocupa pines GPIO; requiere cuidado en alimentación (GND común, step-up estable)	Integración nativa vía DSI; plug & play (drivers soportados por Raspberry OS), no ocupa pines GPIO extra
Rendimiento gráfico	Bueno para texto/pictogramas estáticos o poco dinámicos; actualización rápida limitada por SPI	Excelente para GUI, video, juegos y gráficos acelerados (GPU de la Pi)
Latencia	Baja para datos pequeños; actualización parcial posible	Muy baja y fluida; aceleración por hardware
Soporte de software / drivers	Librerías: luma.oled, U8g2, Adafruit (ajustes) — puede requerir inicialización especial para SSD1309	Soporte oficial en Raspberry Pi OS; Xorg / Wayland / GPU drivers; aceleración multimedia
Tamaño físico / forma	Muy variados: 0.96"–2.4"; posible transparencia estética	Varía (pantallas táctiles 7" comunes para Pi) — normalmente no transparentes
Touch (táctil)	Sin táctil	Panel táctil integrado (resistivo/capacitivo)
Ventajas clave	Muy bajo consumo visual, buen contraste para pictogramas, tamaño pequeño, estética transparente	Integración nativa, color y vídeo, mejor experiencia usuario, táctil disponible, sin complicaciones de voltaje

La tabla 4.5 muestra sensores de audio que sirven para la transformación a texto mediante la librería “*Speech Recognition*”. Los módulos “MP34DT01” y “INMP441” implementan una interfaz de comunicación diferente a USB, siendo esta última más común y fácil de usar, debido a que no requiere algún controlador adicional, estos ya se encuentran incluidos en los sistemas operativos de Linux. Solo el módulo “CM108” no cuenta con un micrófono incluido siendo su funcionamiento dependiente del micrófono externo a colocar. Destaca el micrófono “BuyinCoins” por tener la característica de cancelación de ruido integrada útil para tener un audio limpio.

Tabla 4.5 Comparación de hardware para captura de audio

Característica	Módulo MP34DT01	Módulo MH-ET (INMP441)	Módulo CM108	Micrófono USB omnidireccional portátil (BuyinCoins)
Tipo	Micrófono MEMS	Micrófono MEMS	Tarjeta de sonido USB con entrada de micrófono	Micrófono de condensador con convertidor USB integrado
Tecnología	PDM (Pulse Density Modulation)	MEMS (I ² S digital)	USB (ADC integrado)	USB 2.0 (digital, Plug & Play)
Chip principal	MP34DT01	INMP441	CM108	Chip USB genérico (C-Media u OEM compatible)
Patrón polar	Omnidireccional	Omnidireccional	Depende del micrófono conectado	Omnidireccional
Interfaz	PDM (2 pines)	I ² S	USB	USB 2.0
Rango de frecuencia	100 Hz – 10 kHz	100 Hz – 10 kHz	Depende del micrófono conectado	100 Hz – 16 kHz
Sensibilidad	-26 dBFS ±3 dB	-26 dBFS ±1 dB	Depende del micrófono	-67 dBV/pBar, -47 dBV/Pa ±4 dB
Relación señal/ruido (SNR)	61 dBA	64 dBA	Depende del micrófono	~60 dBA (estimado, no especificado)
Voltaje de operación	1.8V – 3.3V	1.7V – 3.6V	5V (USB)	5V (alimentación por USB)
Dimensiones	14 × 12.8 × 2.8 mm	10.5 × 8.5 mm	38 × 7 mm	20 × 20 × 5 mm
Cancelación de ruido	No integrada	Parcial	Depende del micrófono	Sí (electrónica por hardware)
Compatibilidad	General (MCUs, SoC)	General (ESP32, Raspberry Pi)	PC, laptops, SBC	PC, Mac, Raspberry Pi, Android (OTG), etc.

Capítulo 5

Metodología

El capítulo contiene el método propuesto para dar cumplimiento a los objetivos planteados y presentar resultados. La propuesta cuenta con 5 fases (figura 5) necesarias para proponer un dispositivo que cumpla con la funcionalidad de intérprete. Cada fase se describe a lo largo de este capítulo y presentando la información hallada

Las fases 1 corresponden al estado del arte donde el panorama teórico revela aspectos importantes de las lenguas de señas que deben ser tomados en cuenta para trabajar con ellas.

La fase 2 y 3 corresponden al estado de la técnica donde el panorama de la tecnología disponible (tanto software como hardware) son revisadas para tener certeza de las herramientas tecnológicas a utilizar.

La fase 4 corresponde a la construcción y pruebas realizadas al prototipo propuesto en base a la información y materiales a los que se tuvo acceso. Esto se especifica en las limitaciones donde se plantea que sólo se utilizará la tecnología que se pueda adquirir.

La fase 5 corresponde a las pruebas realizadas con el dispositivo propuesto y muestra los indicios de cómo se puede trabajar con la Lengua de Señas Mexicana.

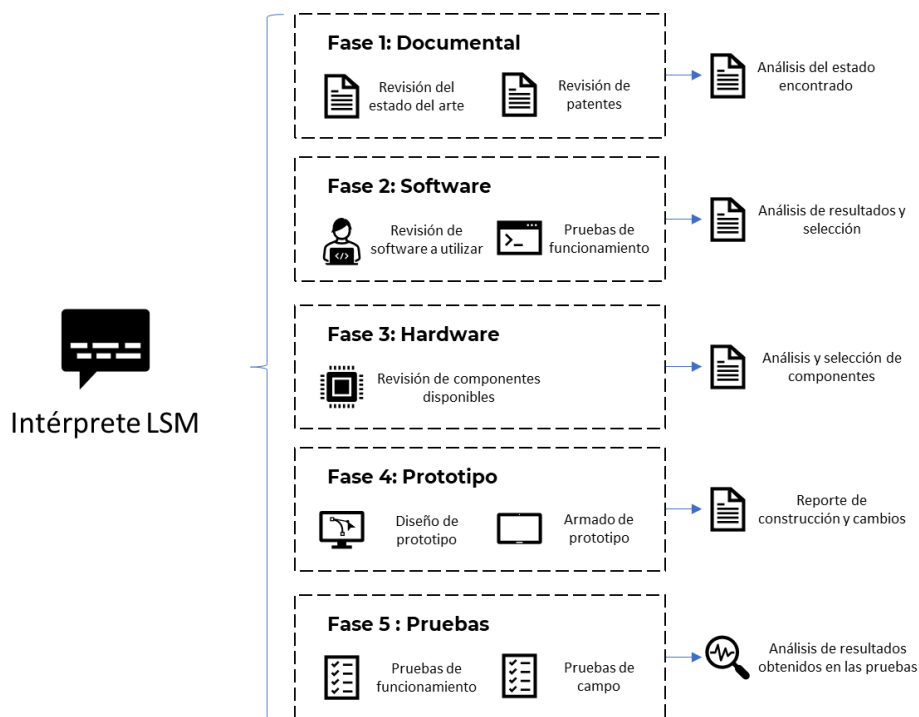


Figura 5.1 Diagrama general de metodología propuesta.

5.1. Fase 1: Documental

El análisis documental inició con la búsqueda de artículos científicos sobre la Lengua de Señas Mexicana (LSM). Al no encontrar suficientes resultados, se amplió la búsqueda a estudios sobre lenguas de señas en general. Posteriormente, se identificaron documentos que, aunque relevantes, no aportan suficiente información, lo que lleva a dirigir la búsqueda hacia los aspectos lingüísticos de la LSM en específico. Esta última búsqueda enriquece y da sentido a cómo funciona la lengua y como se puede trabajar con ella.

Durante el análisis se identifica la escasez de información específica sobre la LSM. Ante esta limitación, se decidió complementar la búsqueda con la participación en dos cursos de LSM proporcionados por el DIF del estado de Morelos y el DIF de la CDMX, lo cual permitió adquirir conocimientos lingüísticos básicos y una comprensión más profunda y correcta de la estructura de la lengua.

5.2. Fase 2: Software

En la fase de análisis de software se propone el uso de Python como lenguaje de programación, debido a su versatilidad y disponibilidad de librerías para el procesamiento de datos, voz y análisis lingüístico como se muestra en el estado de la técnica. Además, Python se encuentra preinstalado en la mayoría de las distribuciones de Linux, lo que representa una ventaja de portabilidad y facilidad de implementación, al no requerir configuraciones adicionales para su ejecución. Esta

elección antecede a la selección del hardware, ya que la definición del entorno de desarrollo permite establecer los requerimientos técnicos mínimos que debe cumplir. Python se encuentra de forma nativa en todas las distribuciones de Linux.

Para el caso de la librería *Speech recognition* el motor a utilizar por su facilidad de uso es Google Speech Recognition. La prueba realizada se explicará más adelante en la fase de pruebas.

5.3. Fase 3: Hardware

Se realizó la selección de los dispositivos de hardware necesarios para la implementación del proyecto considerando como opciones principales la Raspberry Pi 4 y la Orange Pi Zero 2W. La elección de estas tarjetas responde a los siguientes criterios:

- Poder computacional.
- Facilidad de uso.
- Fácil acceso a su adquisición.
- Compatibilidad con el software propuesto.

Con los criterios y los elementos anteriormente mostrados en el estado de la técnica correspondientes a las tablas 4.4 y 4.5 se realiza la selección de componentes restantes para iniciar el desarrollo del prototipo, para lo cual se tienen 3 propuestas que comparten componentes en común. La tabla 10 muestra las opciones y componentes considerados.

Tabla 5.1 Hardware propuesto para pruebas

Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Orange Pi Zero 2W Memoria Micro SD Pantalla OLED transparente SSD1309 Módulo CM108 Auriculares genéricos	Raspberry Pi 4 Memoria Micro SD Pantalla OLED transparente SSD1309 Módulo CM108 Auriculares genéricos	Raspberry Pi 4 Memoria Micro SD Pantalla DSI Micrófono USB omnidireccional portátil (BuyinCoins)

5.4. Fase 4: Prototipo

Esta fase tiene como propósito integrar el software y el hardware antes descrito para presentar un prototipo capaz de realizar las tareas de procesamiento de voz a texto mediante un sensor de audio (micrófono), procesamiento del texto usando PLN y presentación en un módulo de visualización (pantalla) de los signos consultados en la base de datos (pictogramas LSM) y el texto capturado originalmente (palabras).

Las propuestas anteriores comprenden 2 diseños posibles como se muestra en la figura 5.2, siendo la diferencia entre ellas el tipo de pantalla para obtener una salida visual al mensaje que se captura. La figura de la izquierda corresponde a un representación tipo gafas el cual se construye con el módulo OLED de pantalla transparente, mientras que la figura de la derecha es una representación utilizando la pantalla DSI para Raspberry.

Las dos propuestas responden a la necesidad de verificar cuál diseño puede usarse más fácilmente y permitir realizar pruebas con el objetivo de observar problemas e implementar mejoras para su funcionamiento.

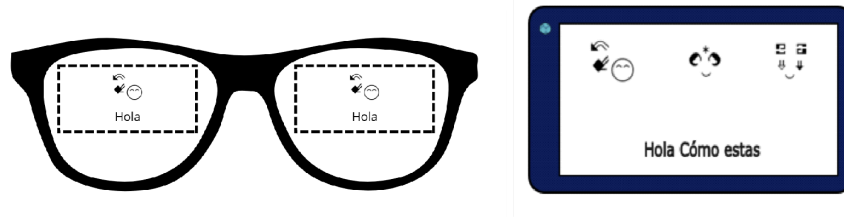


Figura 5.2 Propuestas de diseño para el prototipo

5.4.1. Software del sistema y librerías

Primero se escribe el software con los elementos básicos necesarios para su funcionamiento, esta decisión permite tener el software y después adaptarlo a las diferentes salidas que puedan utilizarse. Los pasos a seguir son:

1. Convertir voz a texto.
2. Eliminar palabras innecesarias (stopwords)
3. Lematizar palabras restantes que forman al mensaje.
4. Etiquetar palabras según su posición en la oración.
5. Mediante el etiquetado, reordenar para cambiar el orden gramatical.
6. Buscar las palabras en la base de datos.
7. Mostrar los pictogramas encontrados que corresponden a esas palabras en el medio a visualizar.

El paso 1 corresponde al uso de la librería *speech recognition* configurada para el reconocimiento de voz en español. Este paso nos devuelve el texto.

Del paso 2 al 5, son aplicadas técnicas básicas de PLN con las librerías *NLTK* y *SpaCy* al texto obtenido. Se considera solo lo básico ya que en estado del arte referente a los aspectos lingüísticos y los cursos tomados sobre la LSM muestran que utiliza estos métodos de forma natural para realizar una interpretación de la lengua hablada a señas. Por ejemplo la frase “Yo te presto un libro” se interpreta en su forma escrita como “Yo libro prestar” especificando con una seña a quien se le presta (López García et al., 2006).

El orden gramatical del paso 5 corresponde a la estructura sujeto-objeto-verbo (SOV), donde el etiquetado realizado por la librería *SpaCy* permite cambiar el orden de las palabras.

El paso 6 busca las palabras de la frase resultante en una base de datos propuesta, la cual se construye con la librería *SQLite* y contiene pictogramas relacionados a la LSM.

El paso 7 permite enviar la información de texto y pictogramas buscados a una salida visual.

El primer software generado se ejecuta en Windows, donde no se presenta ningún problema de ejecución, de aquí se pasa a Linux ya funcionando.

5.4.1.1. Lógica de programación

El software resultante de la lógica anteriormente descrita se encuentra en 4 funciones que son llamadas para obtener los elementos necesarios como lo es la voz y terminando en la presentación de la información en texto y pictogramas.

Las funciones enlistadas a continuación serán descritas en la fase de pruebas y el código puede revisarse en el Anexo A:

- voz_a_texto
- procesar_texto
- buscar_en_db
- mostrar_imagenes

5.4.1.2. Base de datos

La base de datos cuenta con 2 tablas llamadas “palabras_lsm” y “pictograma_lsm” (figura 5.3), con la finalidad de poder vincular una palabra a un pictograma o varias palabras (sinónimos) a un pictograma. También puede expresarse como entrada polisémica y equivalencia monosémica (María Teresa Calvo Hernández, 2012). La base de datos vincula 198 palabras.

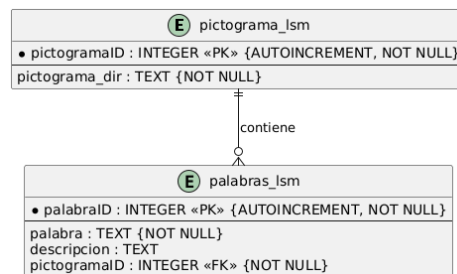


Figura 5.3 Diagrama de base de datos

Como ejemplo de esto se tiene el siguiente ejemplo de la base de datos (figura 5.4), representando el uso de sinónimos en la palabra genuino. La lista de pictogramas completa se encuentra en el Anexo B.

palabraID	palabra	descripcion	pictogramaID
140	genuino	El único o el oficial	
141	auténtico	El único o el oficial	
142	oficial	El único o el oficial	
143	original	Auténtico, genuino.	

Figura 5.4 Ejemplo de entrada polisémica y equivalente monosémico de la palabra genuino

5.4.2. Ensamble de prototipo.

Comienza con la instalación del sistema operativo, usando Raspberry Pi Imager para instalar Raspberry Pi OS en una tarjeta microSD siendo este el más usado, además cuenta con muchas dependencias ya instaladas por defecto. Python está incluido en este sistema operativo por defecto en su versión 3.

En el caso de Orange Pi la imagen del sistema operativo disponible es Ubuntu Jammy la cual se instala con el software Balena Etcher en la tarjeta microSD, el cual es recomendado en su página oficial.

La figura 5.5 muestra los sistemas operativos que pueden utilizarse en cada tarjeta de acuerdo al fabricante, a la izquierda Raspberry Pi OS mediante la lista de su propio software y a la derecha el software que pone a disposición para descargar el fabricante de Orange Pi.

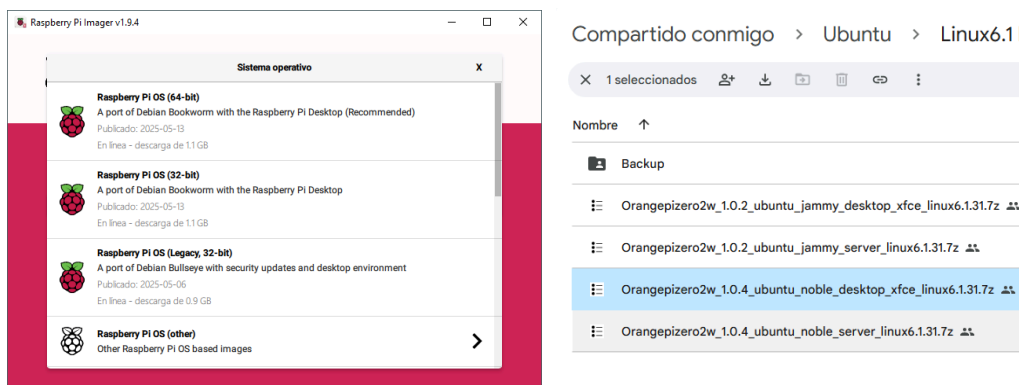


Figura 5.5 Sistemas operativos disponibles para instalación

El primer prototipo probado es el que se encuentra descrito en la tabla 5.1 como propuesta 2, se elige ya que existe más información de esta tarjeta, con las conexiones de las pantallas mediante el protocolo de comunicación SPI de la pantalla OLED transparente y sus puertos dedicados en la tarjeta Raspberry Pi 4B (figura 5.6).

Las conexiones son iguales en la tarjeta Orange Pi Zero 2W de la propuesta 1, ya que el diseño de la tarjeta se basa en la tarjeta Raspberry Pi.

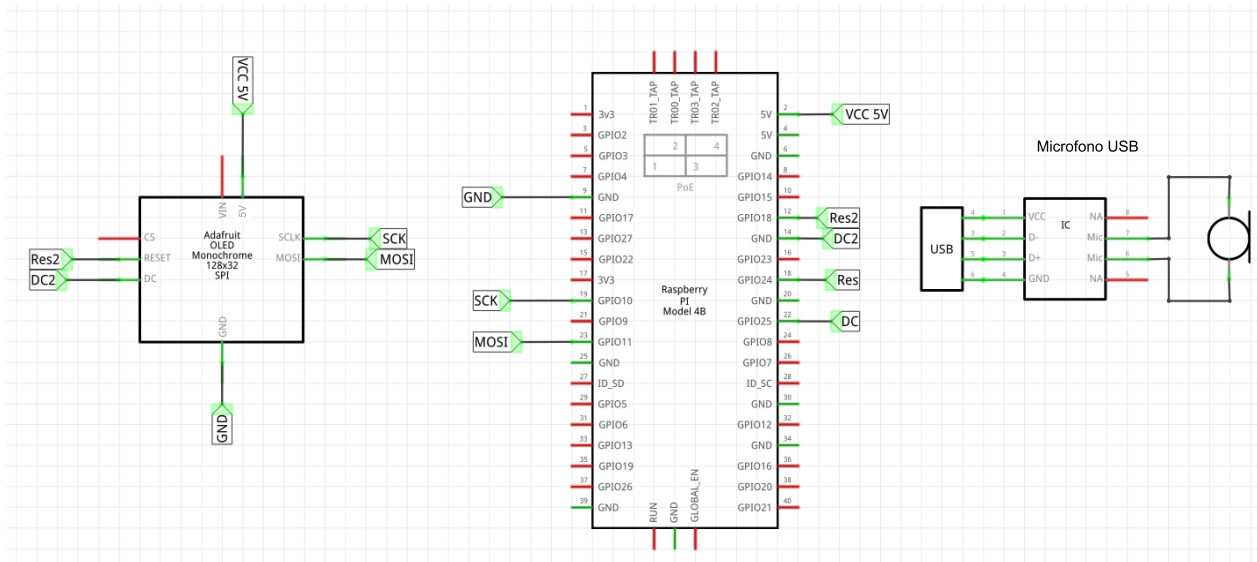


Figura 5.6 Diagrama esquemático de conexión para prototipo

Solo en el caso de la propuesta 3 como se muestra en la figura 5.7, existe una conexión dedicada para una pantalla, por lo que ya no es necesario ningún elemento extra de conexión a los pines. La tarjeta Orange Pi no cuenta con una conexión semejante y se descarta su uso en ella.

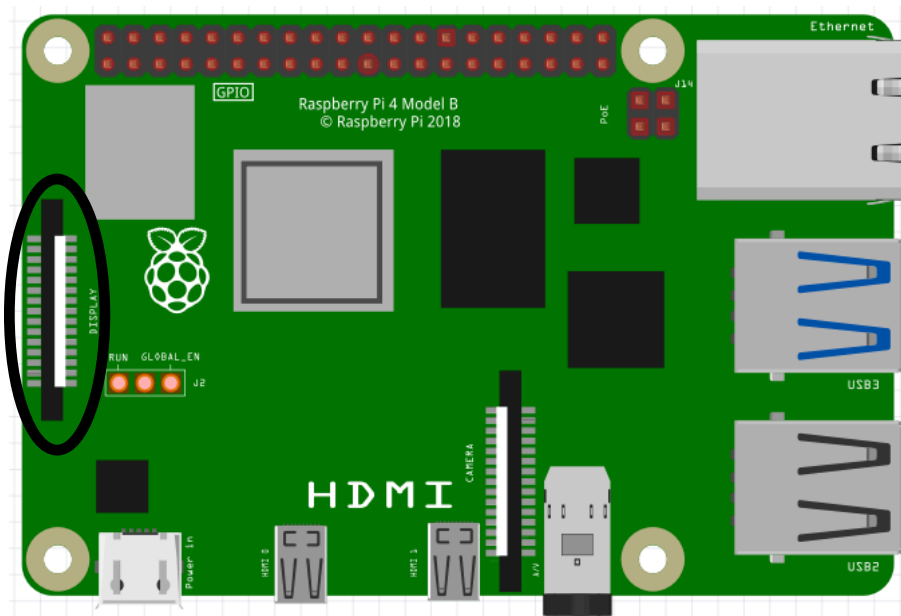


Figura 5.7 Representación de Raspberry Pi señalando su conexión dedicada para pantalla

Con el sistema operativo instalado, se carga el programa descrito anteriormente donde se instalan las librerías y dependencias necesarias para su funcionamiento.

Al ser un sistema operativo diferente las problemáticas de funcionamiento se fueron resolviendo una a una con asistencia de Inteligencia Artificial, resultando en la instalación de librerías y dependencias que se muestran en las tablas 5.2 y 5.3 con la finalidad de mostrar su importancia en el proceso de funcionamiento del software propuesto.

La tabla 5.2 muestra las librerías python utilizadas, el comando de instalación utilizado en la terminal y una descripción de su funcionamiento.

Tabla 5.2 Librerías Python necesarias para el funcionamiento

Librerías	Comando	Descripción
Setuptools	pip install setuptools	Es una biblioteca de Python que facilita la construcción, distribución e instalación de paquetes de Python.
SpeechRecognition	pip install SpeechRecognition	Es una biblioteca que permite realizar reconocimiento de voz utilizando varios motores y APIs, tanto en línea como fuera de línea. Soporta motores como Google Speech Recognition.
PyAudio	pip install PyAudio	Es un módulo que permite reproducir y grabar audio en varias plataformas utilizando PortAudio. Es útil para aplicaciones que requieren entrada y salida de audio en tiempo real.
nltk	pip install nltk	Natural Language Toolkit (NLTK) es la biblioteca más utilizada para construir programas en Python que trabajen con datos de lenguaje humano. Proporciona interfaces fáciles de usar para más de 50 corpus y recursos léxicos, y una suite de bibliotecas de procesamiento de texto.
spacy	pip install spacy	Es una biblioteca de procesamiento de lenguaje natural (NLP) en Python. Ofrece características como etiquetado, análisis, reconocimiento de entidades nombradas (NER), y más.
es_core_news_sm	python -m spacy download es_core_news_sm	Es un modelo de spaCy para el procesamiento de lenguaje natural en español. Incluye componentes para tokenización, etiquetado de partes del discurso, análisis de dependencias y reconocimiento de entidades nombradas.
adafruit-circuitpython-ssd1306	pip install adafruit-circuitpython-ssd1306	Es una biblioteca para controlar pantallas OLED SSD1306 utilizando CircuitPython. Permite dibujar texto, formas y gráficos en estas pantallas.
adafruit-blinka	pip install adafruit-blinka	Es una biblioteca que permite usar CircuitPython en placas de desarrollo que no son de Adafruit, como Raspberry Pi. Proporciona compatibilidad con muchos sensores y dispositivos.
pillow	pip install pillow	Es una biblioteca de procesamiento de imágenes en Python. Permite abrir, manipular y guardar muchos formatos de archivo de imagen diferentes. Es una versión mejorada de la biblioteca PIL (Python Imaging Library).
RPi.GPIO	pip install RPi.GPIO	Es una biblioteca que permite controlar los pines GPIO de una Raspberry Pi. Es útil para proyectos de electrónica que requieren interacción con sensores, LEDs, botones y otros componentes.
os	pip install os-sys	Es un módulo integrado en Python que proporciona una forma versátil de usar funcionalidades dependientes del sistema operativo. Permite interactuar con el sistema de archivos, gestionar procesos, y manipular variables de entorno.
Sqlite	pip install sqlite3	Es un módulo integrado en Python que proporciona una interfaz para trabajar con bases de datos SQLite. Permite crear, acceder y manipular bases de datos SQLite de manera sencilla y eficiente

La tabla 5.3 muestra las dependencias que requiere Linux para permitir el funcionamiento de las librerías de Python y su interacción con la tarjeta. La tabla 12 muestra la dependencia, el comando utilizado en la terminal para su instalación y una descripción de su funcionamiento.

Tabla 5.3 Dependencias de Linux necesarias para el funcionamiento

Dependencia	Comando	Descripción
python3-dev	sudo apt install python3-dev	Incluye los archivos de cabecera y las bibliotecas necesarias para desarrollar extensiones de Python en C o para compilar módulos de Python que requieren acceso a las bibliotecas internas de Python.
portaudio19-dev	sudo apt install portaudio19-dev	Es una biblioteca de entrada/salida de audio portátil diseñada para ser compatible con múltiples plataformas. Se utiliza principalmente para aplicaciones que requieren la captura y reproducción de audio en tiempo real.
build-essential	sudo apt install build-essential	Este paquete incluye una colección de herramientas esenciales para la compilación de software en sistemas basados en Debian. Contiene el compilador GCC, make, y otras utilidades necesarias para compilar programas desde el código fuente.
libssl-dev	sudo apt install libssl-dev	Este paquete proporciona los archivos de desarrollo para OpenSSL, una biblioteca robusta y de uso general para la implementación de protocolos de seguridad de red como SSL y TLS. Es esencial para desarrollar aplicaciones que requieran comunicaciones seguras.
libffi-dev	sudo apt install libffi-dev	Este paquete contiene los archivos de desarrollo para la Biblioteca de Interfaz de Funciones Extranjeras (FFI)libffi permite que el código de alto nivel llame a funciones definidas en bibliotecas compartidas de bajo nivel, facilitando la interoperabilidad entre diferentes lenguajes de programación.
FLAC	sudo apt install flac	FLAC, que significa Free Lossless Audio Codec, es un códec de audio que permite comprimir archivos de audio sin pérdida de calidad.
python3-smbus	sudo apt install -y python3-smbus	Es una biblioteca de Python que proporciona una interfaz para comunicarse con dispositivos a través del bus I2C (Inter-Integrated Circuit).

5.5. Fase 5: Pruebas

Esta fase muestra las pruebas realizadas tanto al software como al hardware lo que permite las correcciones necesarias para su uso.

5.5.1. Motores de conversión a texto

Para realizar las pruebas a los modelos fueron recolectados 14 audios realizados por distintas personas, cada audio contiene la frase “hola, esta es una prueba de audio para verificar el estado y funcionamiento del micrófono. Los números son del 1 al 10 y el abecedario comienza en la letra a y finaliza en la z”; donde está contenido un saludo, una frase, números y letras. Estos audios son proporcionados al modelo para obtener la transcripción.

De la prueba realizada se considera a Google Speech Recognition como la opción viable ya que no presentó ningún problema para su operación en las pruebas de

transcripción de cada audio, no requiere pagos o API Key pero si una conexión a internet. En el caso de los otros motores se presentaron problemas ya sea de instalación o de elementos adicionales con la librería de *speech recognition* (tabla 5.4).

Tabla 5.4 Resultados de pruebas a motores Open Source

Motor	Prueba realizada	Resultado
CMU Sphinx	No logra ejecutarse	Se tuvo el problema de ingresar el modelo pre entrenado y no se obtuvo la transcripción del audio
Google Speech Recognition	Lograda	La transcripción se realiza correctamente, pero no muestra separaciones de frases ya sea por signos de puntuación o mayúsculas. En algunas ocasiones los números los escribe como letras.
Vosk API	Lograda	La transcripción no se realiza correctamente
OpenAI Whisper	No logra ejecutarse	Requiere elementos adicionales sobre el sistema operativo que no fueron posibles instalar

5.5.2. Funcionamiento de Software

Para las primeras pruebas de funcionamiento, el código presenta una salida de las imágenes con “matplotlib” de Python y datos en consola mostrando el texto capturado, el etiquetado de palabras, las palabras encontradas en la base de datos y el reacomodo gramatical.

El proceso es el siguiente:

1. Se realiza la captura de voz por el sensor de audio (micrófono) y “Speech recognition”. La función “voz_a_texto” solo se encarga de esta parte.
2. “Speech recognition” transforma la señal obtenida en texto siendo su configuración el idioma español.
3. El texto es preprocesado para extraer palabras tokenizado, lematizado y eliminando stopwords. Las tareas son realizadas por “nltk”, “spacy”, “punkt”, “punkt_tab”, “stopwords” y “es_core_news_sm”, todo esto en español. La función “procesar_texto” es la encargada de realizar esta tarea y dentro de ella también se presentan los pasos 4 y 5.
4. Solo para fines de observación, todas las palabras de la frase capturada son presentadas en una tabla por consola donde se muestra palabra, lema, etiqueta POS y dependencia (figura 5.8).
5. De forma experimental se usa la etiqueta POS y la dependencia para formar las reglas gramaticales. Se experimenta con 2 reglas principales que son sujeto-objeto-verbo (SOV) y tiempos-lugares-sujetos-verbos-otros (TLSVO).
6. Las palabras resultantes son buscadas en la base de datos, la cual devuelve el nombre de los archivos relacionados a dichas palabras. Se imprime en consola solo las palabras encontradas y el nombre del archivo (figura 5.8). La función “buscar_en_db” se encarga de esta parte.

7. Con lo anterior se construye la ruta del archivo con la librería “os”.
8. Con las rutas completas se muestran en pantalla las imágenes encontradas mediante “matplotlib”. La función “mostrar_imagenes” se encarga de esta parte.
9. Por último, se imprime el texto en consola mostrando el acomodo de las palabras de acuerdo con las reglas gramaticales existentes (figura 5.8).

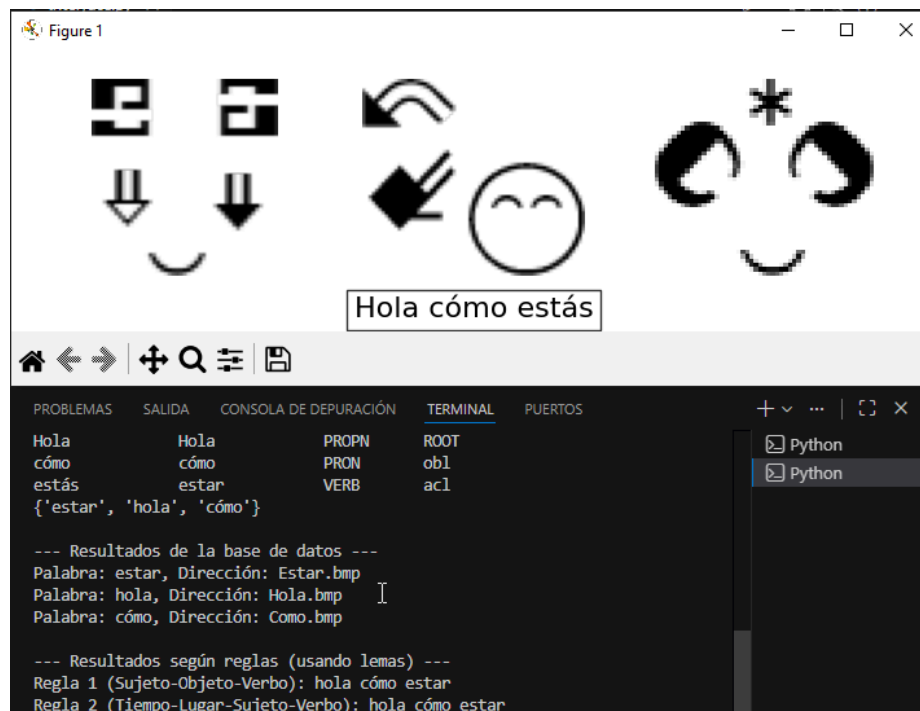


Figura 5.8 Muestra de salida de consola y presentación de pictogramas

Se realizaron pruebas con 100 frases para observar como la falta de pictogramas puede afectar la construcción del mensaje que representan. La figura 5.9 muestra el conteo de pictogramas donde se observa que la mayoría se construyen con 2 o 3 pictogramas, pero también sucede que en 10 frases no se tienen pictogramas y lo menos frecuente es tener una frase de 4 pictogramas. La tabla con las frases y pictogramas de esta prueba se encuentran en el Anexo C.

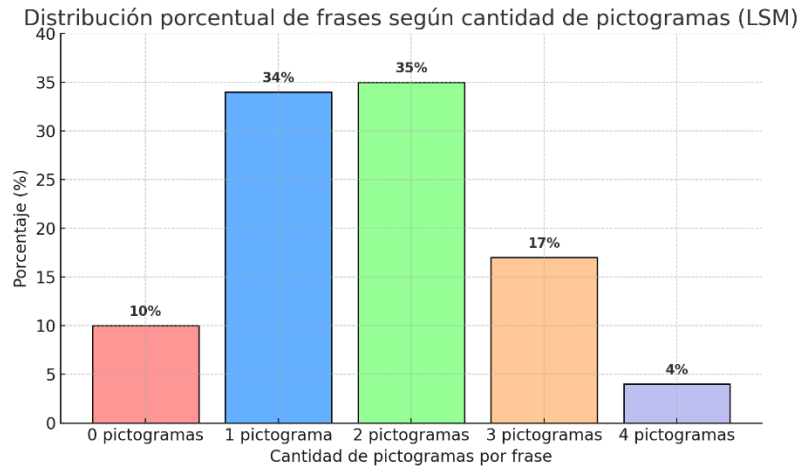


Figura 5.9 Porcentaje de pictogramas presentados en 100 frases para las pruebas locales

5.5.3. Pruebas de funcionamiento en prototipos

El primer prototipo construido con la Raspberry Pi 4 y los componentes antes mencionados en la Propuesta 2, se realizaron pruebas de funcionamiento con el software adaptado a la salida de la pantalla transparente como se muestra en la figura 5.10.

En este prototipo se descubre lo siguiente:

- Las pantallas transparentes entorpecen la vista ya que cada píxel se enciende con gran intensidad.
- Las pantallas no consumen 5V como anunciaba la página, ya que internamente contiene un circuito step-up que aumenta el voltaje a 12V de acuerdo con lo especificado en el datasheet (Solomon Systech, 2024).
- Se experimenta conectándolo a una fuente de baterías para probar su funcionamiento en una situación donde no se tenga una conexión eléctrica disponible, de lo cual se observa que la energía no es suficiente para el funcionamiento de la pantalla.



Figura 5.10 Prueba de funcionamiento con Raspberry Pi 4 y pantalla transparente

El segundo prototipo construido con la Orange Pi 2W y los componentes mencionados para la Propuesta 1, presenta inconvenientes para el uso de las pantallas transparentes debido a la incompatibilidad de las librerías. Con esto se descartó la opción.

El tercer prototipo construido manteniendo la tarjeta Raspberry Pi 4 y los componentes mencionados para la Propuesta 3. Este prototipo resulta más conveniente de utilizar ya que no requiere ninguna integración de librerías o componentes externos para su uso (figura 5.11).

En este prototipo se descubrió lo siguiente:

- A diferencia de las pantallas transparentes que son monocromáticas podemos usar imágenes a color.
- No se tiene problemas de funcionamiento de la pantalla ni de la tarjeta usando baterías.
- Con una batería de 10000mAh (*Power Bank*) puede mantenerse en funcionamiento por 3 horas seguidas o más.
- El micrófono USB presenta menos ruido nativo que la tarjeta de audio usada en la Propuesta 1.

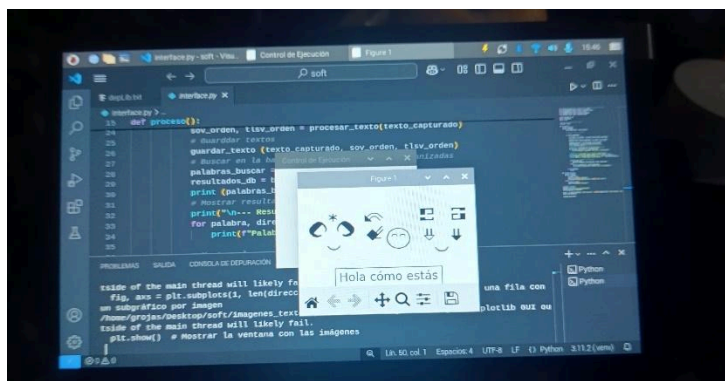


Figura 5.11 Muestra de funcionamiento con Raspberry pi 4 y pantalla DSI

5.5.4. Funcionamiento con usuarios hablantes y sordos

Para las pruebas con personas se propone el siguiente diseño de pruebas, en el cual se toma en cuenta a personas hablantes y sordas que conozcan la Lengua de Señas Mexicana y puedan leer. Solo se obtuvieron 4 pruebas de personas hablantes (2 de ellas hipoacúsicas) y una persona sorda.

5.5.4.1. Diseño de la prueba

Se prueba el dispositivo intérprete en escenarios cotidianos donde se expresan frases como son los saludos, presentarse, preguntas relacionadas al estado del bienestar del individuo, preguntas relacionadas a los gustos, preguntas relacionadas a las necesidades, etc.

Se procura tener una conversación de tal manera que la persona sorda comprenda el mensaje emitido por la persona oyente. Pueden priorizarse frases o preguntas que solo requieran una respuesta de si o no, ya que esta seña es bastante intuitiva para que una persona oyente comprenda si ha sido comprendido.

Instrumentos

- Formulario.

Proceso de validación

Fase 1: Presentación:

- Explicar a los participantes el propósito del dispositivo y cómo funciona.

Fase 2: Pruebas de funcionamiento:

- Los participantes recibirán frases transformadas del lenguaje hablado a pictogramas y texto de apoyo.
- Evaluar si los mensajes transmitidos son comprensibles mediante el cuestionario.

Fase 3: Cuestionario:

- Los participantes responderán un cuestionario de 9 preguntas.
- <https://forms.gle/etMd6ENZFA7RFkUr8> (Sordos)
- <https://forms.gle/wkuAqmW2JdWZ6PyU7> (Habla ntes)

Presentación (1 minuto)

“Este dispositivo facilita la comunicación al convertir la voz en texto escrito y, simultáneamente, mostrar pictogramas que representan las palabras clave disponibles, estos pictogramas son representaciones de las señas que se pueden hacer con las manos. El usuario observa tanto el texto como los pictogramas, ofreciendo una doble vía de comprensión. Todo esto se muestra en la pantalla del dispositivo.”

Prueba de funcionamiento (5 minutos)

Para iniciar las pruebas y mostrar el funcionamiento se utilizan 3 preguntas y se registra si es comprensible el texto, los pictogramas o ambos.

Las siguientes tres preguntas pueden ser al azar para comprobar cualquier frase relacionada al momento o lugar donde se hace la prueba y de igual manera se registra si es comprensible el texto, los pictogramas o ambos.

Las preguntas iniciales pueden ser las siguientes:

1. "Hola, ¿cómo estás?"
 - o Demostración: Decir "Hola, ¿cómo estás?" al dispositivo.
 - o Explicación: "Como ven, mi voz se convierte en el texto "Hola cómo estás". Al mismo tiempo, el sistema busca en su base de datos y muestra los pictogramas correspondientes y en caso de encontrarlos se muestran en pantalla."
 - o Relevancia: Es un saludo común y útil.
2. "Quieres agua."
 - o Demostración: Decir "Quieres agua." al dispositivo.
 - o Explicación: "Ahora, al decir 'Quiero agua', vemos el texto y los pictogramas de 'agua' y 'querer', lo que facilita la comprensión para alguien que quizás no entiende el español hablado."
 - o Relevancia: Es una necesidad básica.
3. "Gracias por tu ayuda."

- o Demostración: Decir "Gracias por tu ayuda." al dispositivo.
 - o Explicación: "Aquí el sistema muestra 'Gracias por tu ayuda' y el pictograma de 'gracias', reforzando la expresión de agradecimiento."
 - o Relevancia: Es una expresión de cortesía importante.
4. "¿Cómo te encuentras hoy?"
- o Demostración: Decir "¿Cómo te encuentras hoy?" al dispositivo.
 - o Explicación: "Aquí el sistema muestra 'Cómo te encuentras hoy' y los pictogramas de cómo, encontrar y hoy"
 - o Relevancia: Es una pregunta común sobre el estado de ánimo.
5. "¡Te gusta el café!"
- o Demostración: Decir " Te gusta el café " al dispositivo.
 - o Explicación: "Aquí el sistema muestra ' Te gusta el café ' y los pictogramas de gustar y café."
 - o Relevancia: Es una pregunta sobre un gusto en bebidas.
6. "Me llamo Guillermo y tengo 38 años"
- o Demostración: Decir " Me llamo Guillermo y tengo 38 años" al dispositivo.
 - o Explicación: "Aquí el sistema muestra ' Me llamo Guillermo y tengo 38 años ' sin pictogramas ya que no se cuenta con ninguno que haga referencia"
 - o Relevancia: Frase común para presentarse.

Cuestionario (3 minutos)

1. ¿Fueron claros los pictogramas? (1: Nada claro - 5: Muy claro)
2. ¿Cuántos pictogramas reconociste? (1 a 3 – 4 a 6 – 7 a 9)
3. ¿Cambiarías el tipo de pictograma? (Si o no).
4. ¿Fue claro el mensaje de texto? (1: Nada claro - 5: Muy claro)
5. ¿Consideras útil este dispositivo para la comunicación con personas sordas? (1: Nada útil - 5: Muy útil)

6. ¿Qué aspectos del dispositivo consideras que necesitan mejorar? (Respuesta abierta).
7. ¿Consideras que el dispositivo podría ser útil en situaciones específicas? (Si o no).
8. ¿Te sentiste cómodo/a utilizando este dispositivo? (1: Nada cómodo/a - 5: Muy cómodo/a)
9. ¿Recomendarías este dispositivo a otras personas sordas? (Si o no).

5.5.4.2. Datos obtenidos de las pruebas

Los sujetos de prueba que apoyaron en el experimento son los siguientes:

- Alejandra, Maestra de LSM.
- Amigo de Alejandra (hipoacúsico), Ingeniero TICs.
- Ricardo (hipoacúsico), Maestro de LSM.
- Berenice, Hablante de LSM.
- Erik Arellano (Sordo), Representante de la comunidad sorda 2023.

Para poder diferenciar los resultados, fueron separadas las respuestas de las personas hablantes que incluyen los hipoacúsicos debido a que ellos aprendieron el español hablado escuchando. En cambio, las personas sordas lo adquieren de manera diferente ya que nunca lo escuchan.

Personas hablantes e hipoacúsicas

La tabla 5.5 muestra las respuestas obtenidas después de realizar la prueba, donde las respuestas a las preguntas abiertas se colocan tal cual las escribió el participante de la prueba.

Tabla 5.5 Preguntas y respuestas de los 4 participantes hablantes e hipoacúsicos

Pregunta	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4
¿Fueron claros los pictogramas?	5	5	5	4
¿Cuántos pictogramas reconociste?	4 a 6	4 a 6	7 a 9	4 a 6
¿Cambiarías el tipo de pictograma?	No	No	Si	Si
¿Fue claro el mensaje de texto?	5	5	4	5
¿Consideras útil este dispositivo para la comunicación con personas sordas?	5	5	4	5
¿Qué aspectos del dispositivo consideras que necesitan mejorar?	Esta muy excelente y podrias otra animación de LSM	Ampliar el vocabulario	pues comunicacion eclipse, visual , java eso aprender	Mejorar las figuras
¿Consideras que el dispositivo podría ser útil en situaciones específicas? (Por ejemplo, en escuelas, hospitales, tiendas, instituciones de gobierno, etc.)	Si	Si	Si	Si
¿Te sentiste cómodo/a utilizando este dispositivo?	5	5	4	4
¿Recomendarías este dispositivo a otras personas sordas?	Si	Si	Si	Si

Puede observarse que los 4 participantes lograron comprender los pictogramas presentados en las frases utilizadas en la prueba. Reconocen los pictogramas y su significado, pero en la pregunta relacionada a cambiar los pictogramas, es clara la intención de que es necesario usar otro tipo de figuras.

Los mensajes de texto corresponden a la transcripción del mensaje hablado, donde es evidente que esta parte si es clara para todos, debido a que saben leer.

Todos los participantes concuerdan en que si es útil para la comunidad sorda y en situaciones específicas.

En las mejoras sugeridas es evidente que se requiere otro tipo de imágenes o representaciones y ampliar el vocabulario.

Todos los participantes recomendarían el dispositivo a personas sordas, por lo que podemos decir que si hay aceptación a pesar de los inconvenientes observados por los participantes en el prototipo.

Personas sordas

La tabla 5.6 muestra la respuesta obtenida después de realizar la prueba, de igual manera las respuestas a las preguntas abiertas se colocan tal cual las escribe el participante.

Tabla 5.6 Preguntas y respuestas del participante sordo

Pregunta	Participante 1
¿Fueron claros los pictogramas?	4
¿Cuántos pictogramas reconociste?	4 a 6
¿Cambiarías el tipo de pictograma?	Si
¿Fue claro el mensaje de texto?	5
¿Consideras útil este dispositivo para la comunicación con personas sordas?	4
¿Qué aspectos del dispositivo consideras que necesitan mejorar?	Mejorar imagen, mejor vista
¿Consideras que el dispositivo podría ser útil en situaciones específicas? (Por ejemplo, en escuelas, hospitales, tiendas, instituciones de gobierno, etc.)	Si
¿Te sentiste cómodo/a utilizando este dispositivo?	4
¿Recomendarías este dispositivo a otras personas sordas?	Si

El participante reconoce los pictogramas presentados, pero menciona y comparte una aplicación para traducir a diferentes sistemas de señas llamada "Sign Language Transcription". Los textos son entendibles y cree que puede ser útil para las personas sordas, aclarando que se requiere mayor difusión del sistema "Signwrinting".

Capítulo 6

Resultados

Este capítulo muestra los resultados obtenidos con los sujetos de prueba utilizando el cuestionario mostrado en el capítulo anterior y el software generado para realizar la tarea de intérprete.

Se recopilaron todas las respuestas de los sujetos de prueba, considerando la escala de valoración de 1 a 5 en las preguntas 1, 4, 5 y 8, mientras que en la pregunta 2 se emplean 3 rango distintos. Estas preguntas tienen valores numéricos para poder medir la percepción del usuario con lo que puede ver del intérprete y su funcionamiento y sus resultados se presentan en la tabla 6.1 como un promedio de los valores obtenidos.

Para la claridad de pictogramas se obtiene un valor de 4.6 de 5, lo cual es un puntaje alto. Los participantes leían la transcripción y comenzaban a relacionar y entender los pictogramas mostrados.

Los participantes lograron identificar alrededor de 6 pictogramas de los que pudieron observar en la prueba. Este valor se encuentra en el rango medio colocado en la pregunta. Durante la prueba se observó que por lo menos uno de los pictogramas era más difícil de reconocer. En este punto cabe aclarar que en base a las pruebas locales mostradas en el capítulo anterior, se observa que la mayoría de las frases pueden contener entre 2 y 3 pictogramas.

Para la claridad del texto se obtiene un valor de 4.8 de 5, esto permite entender que la transcripción que realiza el motor de Google es muy buena.

En las percepción que tienen las personas participantes con la utilidad el valor obtenido es de 4.6 de 5. Esto indica que el dispositivo cumple con la tarea planteada.

En cuanto a la comodidad de uso se obtiene un valor de 4.4 de 5, donde los participantes perciben que la presentación en el formato de pantalla es cómodo para esta tarea.

Tabla 6.1 Valores medios obtenidos en las preguntas de la encuesta

Indicador	Promedio	Interpretación
Claridad de pictogramas	4.6	Muy alta claridad percibida
Cantidad de pictogramas	5.6	Cantidad media de pictogramas reconocidos
Claridad del mensaje de texto	4.8	Texto muy claro y comprensible
Utilidad del dispositivo	4.6	Alta percepción de utilidad
Comodidad de uso	4.4	Alta comodidad reportada

En los aspectos cualitativos, la única pregunta abierta “¿Qué aspectos del dispositivo consideras que necesitan mejorar?”, los participantes comentan desde su perspectiva como expertos de la lengua la falta de vocabulario, un mejor desarrollo del software y mejoras en la forma de los pictogramas usados. La tabla 6.2 muestra las 4 temáticas planteadas en la pregunta abierta donde 2 comentarios coinciden en la estética de los pictogramas mostrados.

Tabla 6.2 Sugerencias escritas por los participantes.

Tema principal	Frecuencia	Comentarios
Ampliar vocabulario	1	Incluir más palabras o conceptos
Mejorar figuras / diseño visual	2	Hacer pictogramas más claros o estéticos
Agregar animaciones LSM	1	Añadir movimiento puede facilitar la comprensión
Integración tecnológica	1	Conectar con sistemas visuales o apps

Las preguntas a continuación corresponden a respuestas de “Si” y “No” de las cuales se obtiene el porcentaje de las opciones en cada pregunta.

Con lo mencionado en la pregunta abierta es entendible el resultado obtenido a continuación., El 60% de los participantes cree conveniente cambiar el tipo de pictogramas (figura 6.1). En los comentarios sugieren animación de las figuras, mejor representación o cambiarlas por otras.

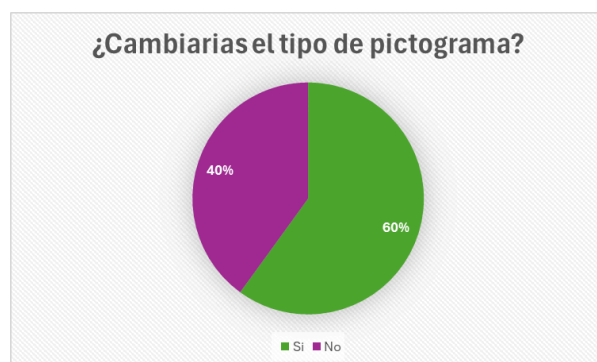


Figura 6.1 Respuesta obtenida de los participantes referente al cambio de pictogramas

Todos los participantes están de acuerdo en que sería útil un dispositivo con estas características en alguna de las situaciones como escuela, hospitales, tiendas e instituciones de gobierno (figura 6.2).

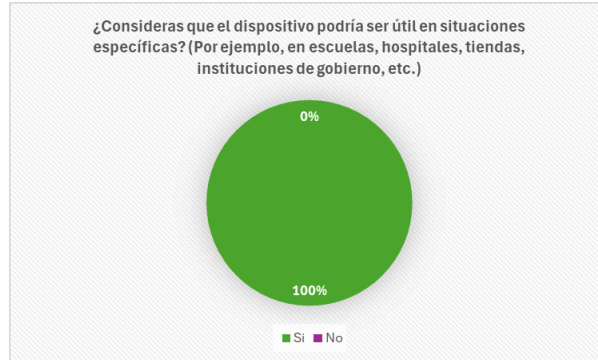


Figura 6.2 Respuesta obtenida de los participantes referente Al uso en situaciones específica

Todos los participantes recomiendan el uso del dispositivo, por lo que tiene una gran aceptación (figura 6.3). Los usuarios comentan que este tipo de dispositivos o herramientas son inexistentes.

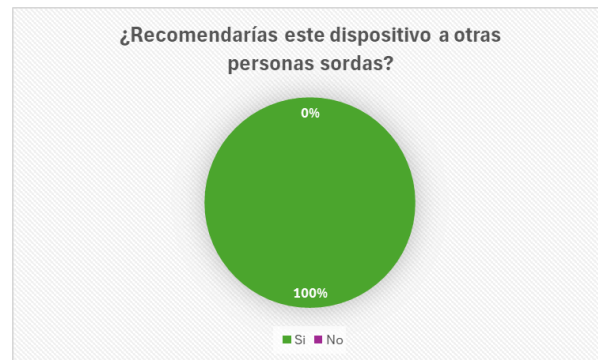


Figura 6.3 Respuesta obtenida de los participantes referente a la recomendación del uso

Con respecto a las frases capturadas y su orden gramatical se observa en la tabla 6.3 que, en 4 casos marcados en verde la estructura SOV es adecuada haciendo referencia a que en la práctica la frase si puede tener ese orden para ser comprendida. En 5 casos la estructura TLSOV también lo es. La clasificación se realiza en base a los conocimientos adquiridos en los cursos de LSM.

Tabla 6.3 Texto capturado y reacomodo de estructura gramatical lograda

Texto capturado	Estructura SOV	Clasificación	Estructura TLSOV	Clasificación
Hoy es un día nublado pero me gusta	gustar ser día nublado	Incorrecta	hoy gustar ser día nublado	Adecuada
el domingo no se trabaja	trabajar	Incorrecta	no domingo trabajar	Adecuada
Gracias por tu ayuda	gracias ayuda	Adecuada	gracias ayuda	Adecuada
mi hermana tiene un hijo	hijo hermana tener	Adecuada	hermana tener	Incorrecta
quiero visitar un museo nuevo	museo nuevo querer visitar	Adecuada	nuevo querer visitar	Incorrecta
estoy contento por verte	estar contento verte	Adecuada	estar contento verte	Adecuada
voy a trabajar mañana	ir trabajar	Incorrecta	mañana ir trabajar	Adecuada

Esto muestra que el 56% donde la estructura gramatical TLSOV, tiende a ser adecuada para formar una interpretación de la frase. Mientras que el 44% la estructura SOV también lo es (figura 6.4).



Figura 6.4 Porcentaje de frases adecuadas de acuerdo su estructura gramatical

Capítulo 7

Hallazgos

La literatura encontrada muestra la existencia de estudios relacionados a las lenguas de señas, pero en sus contenidos se expresa que hace falta información relacionada a la lengua. La única excepción se refiere a la Lengua de Señas Americana (ASL).

Solo 1 artículo encontrado se refiere a la Lengua de Señas Mexican (LSM).

Los libros de Lopez Garcia (2006) y López B. (2016) mencionan la estructura gramatical básica pero es distinta. En 2006 aún era Sujeto-Verbo-Objeto y en 2016 es Sujeto-Objeto-Verbo, siendo un cambio en la lengua. Esto se corrobora con la información obtenida durante los cursos impartidos por el DIF Morelos y el DIF CDMX.

Las tesis de Cruz Aldrete (2008) y Maria Teresa Calvo (2012) muestran ejemplos de palabras donde se observa el uso de las palabras como “Lemas” y los tiempos verbales se indican con una seña.

Se identifica que resulta indispensable contar con un conocimiento previo de la Lengua de Señas Mexicana (LSM) antes de trabajar en cualquier tipo de software o hardware. La comprensión de los aspectos lingüísticos de la lengua es condición necesaria para diseñar herramientas tecnológicas que respondan adecuadamente a sus características estructurales y comunicativas.

Las bases de datos o corpus validados referentes a la LSM, son inexistentes. En consecuencia la opción de SignWriting que se encuentra mencionada en la literatura es la única opción que cuenta con algunos pictogramas.

En el proceso de adquisición de hardware para construir las propuestas de prototipo se identificó que algunos componentes como la tarjeta Orange Pi Zero 2W y la pantalla OLED transparente, únicamente se encuentran disponibles a través de proveedores ubicados en China.

Capítulo 8

Discusión

A continuación, se presentan los puntos encontrados después de realizar las pruebas.

- Se tiene un prototipo que nos puede dar una idea de los siguientes pasos a seguir para mejorar al intérprete.
- Se planteó solo usar la base de datos disponible para este interprete lo que trae como consecuencia una limitante en las palabras que se pueden presentar como pictogramas.
- La limitación en los pictogramas representa un problema ya que no siempre se pueden construir frases completas con ellos.
- A pesar de que se ha experimentado con las reglas gramaticales, no siempre es estructurada correctamente por el software, pero requiere evaluarse por un experto de la lengua. Con los datos obtenidos de las frases probadas el 56% son adecuadas en la estructura TLSOV y 44% en la estructura SOV.
- El tiempo del verbo principal no se puede expresar como pasado o futuro debido a que el preprocesamiento del texto elimina la conjugación del verbo al "Lematizar". Es necesario un modelo adicional que pueda realizar esta tarea, modelo que no existe en las librerías de Python.
- La ambigüedad o el uso coloquial de palabras puede ser un obstáculo para el entendimiento de las frases y su conversión a pictogramas.
- Para realizar una corrección o sustitución de palabras se requiere el contexto de la situación, esto permite seleccionar una palabra más adecuada a la situación y solo puede realizarse con modelos más grandes capaces de realizar dichas tareas como chat GPT.
- Este trabajo solo se limita a buscar una forma de comunicación sin haber tomado en cuenta el contexto de las frases, por lo que solo se cambia el medio de presentación.
- Solo se tomó en cuenta que las dos lenguas comparten semejanzas en su forma escrita y se trabaja con esos elementos.

Capítulo 9

Conclusiones

Con las pruebas realizadas es posible la comunicación de una persona oyente con una sorda por medio del dispositivo intérprete propuesto, aunque existe una deficiencia en la base de datos por la limitada cantidad de palabras y pictogramas disponibles para relacionar.

En el estado del arte consultado, específicamente en los artículos, se hace referencia solamente al análisis de imágenes, haciendo uso de la palabra traducción que es la palabra utilizada en inglés. La interpretación es realmente lo que sucede cuando se trata de un mensaje hablado y transformado a señas, por esta razón se les llama intérpretes a los profesionales que realizan esta tarea.

A diferencia de los artículos encontrados, las tesis de “Cruz Aldrete” y “María Teresa Calvo Hernández”, contienen en su totalidad la información que especifica de cómo funciona la lengua y su gramática en la práctica siendo la fuente de inspiración para la creación del software utilizado. Esto no lo toman en cuenta los trabajos consultados en los artículos.

El hardware utilizado fue propuesto en base a lo que se encuentra disponible en el mercado y que puede adquirirse de forma rápida para poder realizar las pruebas. Sus características dan pauta a mejorar el software sin necesariamente cambiar de hardware. Los 4GB de memoria RAM disponibles permiten el uso de modelos de IA para futuros usos. Esta información se encuentra en la tabla de modelos disponibles de Whisper, uno de los motores que pueden utilizarse con la librería *speech recognition*.

La base de datos obtenida de SignWriting fue suficiente para poder realizar las pruebas, pero en algunos casos insuficiente para poder utilizar frases de uso común con los participantes de la prueba. Esta base de datos utilizada contiene 198 palabras siendo mayo que la opción disponible al comienzo, la anterior solo contaba con 38 palabras.

Las pruebas realizadas con los participantes mostraron de forma cuantitativa, mediante la escala utilizada que, son comprensible tanto los pictogramas como el texto obteniendo un valor cercano a 5, se tiene buena aceptación del trabajo presentado también con valores cercanos a 5 y se percibe como útil para las personas sordas donde todos los participantes concuerdan en recomendar este tipo de dispositivo.

Con respecto a lo experimentado con las reglas gramaticales se observa que la estructura TLSOV es ligeramente más adecuada que la estructura SOV. La causa tiene que ver con el tipo de frase.

En los aspectos cualitativos los participantes sugieren mejorar el software para darle mayor utilidad, utilizar otro tipo de pictogramas o que presenten algún tipo de animación, la utilidad del dispositivo en situaciones específicas y la recomendación para el uso de las personas sordas.

Actividades académicas

A continuación, se enlistan las actividades complementarias que forman parte de la retribución social y formación complementaria que hicieron posible esta tesis. Las evidencias se encuentran en el Anexo D.

1. Constancia de participación en evento CITCA (2024).
2. Participación en INNOVATEC, etapa local (2025).
3. Participación Semana de Ingenierías TECNM Campus Tlalpan (2025).
4. Participación en el congreso *Academia Journals*. Artículo “Desafíos en la Lengua de Señas Mexicana: Modelos de Lenguaje Extendido (LLMs) como Intérprete entre una Persona Oyente y una Sorda” (2025).
5. Curso Lengua de Señas Mexicana nivel básico, DIF Morelos (2024).
6. Curso Lengua de Señas Mexicana nivel básico, DIF CDMX (2025).

Trabajos futuros

En esta sección se enlistan los trabajos propuestos resultado de los hallazgos de la investigación.

- Entrenamiento de un modelo capaz de etiquetar el verbo principal de la frase como Pasado y Futuro, requeridos para mostrar el signo de tiempo verbal en Lengua de Señas Mexicana. De esta manera sería posible expresar frases en tiempo pasado y futuro mostrando el signo correspondiente.
- Traductor de idiomas para una posterior interpretación en otras Lenguas de Señas. Teniendo el texto como intermediario y las bases de datos de otras lenguas, sería posible realizar una traducción y su posterior interpretación a la lengua de señas correspondiente.
- Ampliación de la base de datos con más pictogramas necesarios. Puede usarse el “Manual de LSM” elaborado en 2017 por la CDMX o el libro “Mis manos que hablan” de la editorial Trillas.
- Tablero de comunicación bidireccional con pictogramas de LSM usando un LLM como intérprete. Con esto podría tenerse un intérprete que ya maneja el texto como intermediario para ambas lenguas y se ajustaría la salida ya sea en señas mediante pictogramas o voz según corresponda al participante involucrado en el diálogo.

Referencias

Adams, W., Al, Y., & Wei, J. G. C. (2021). *Smart glasses* (United States Patent No. US20210088810A1).

<https://patents.google.com/patent/US20210088810A1/en?q=US16777256>

Alsulaiman, M., Faisal, M., Mekhtiche, M., Bencherif, M., Alrayes, T., Muhammad, G., Mathkour, H., Abdul, W., Alohal, Y., Alqahtani, M., Al-Habib, H., Alhalafi, H., Algabri, M., Al-hammadi, M., Altaheri, H., & Alfakih, T. (2023). Facilitating the communication with deaf people: Building a largest Saudi sign language dataset. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(8), 101642. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101642>

Altamimi, H. S., & Alsager, H. N. (2023). Argument Structure and Word Order in Saudi Sign Language. *Journal of Language Teaching and Research*, 14(1), 203-214. <https://doi.org/10.17507/jltr.1401.21>

Amin, M. S., Rizvi, S. T. H., & Hossain, Md. M. (2022). A Comparative Review on Applications of Different Sensors for Sign Language Recognition. *Journal of Imaging*, 8(4), 98. <https://doi.org/10.3390/jimaging8040098>

Anthony Zhang. (2024). *SpeechRecognition 3.12.0* (Versión 3.12.0) [Python; MacOS:: MacOS X, Microsoft:: Windows, Other OS, POSIX:: Linux]. https://github.com/Uberi/speech_recognition#readme

Ash, T. W. J., & Robinson, A. J. (2020). *Sistema y procedimiento de procesamiento de voz* (Patent No. ES2794573T3).
<https://patents.google.com/patent/ES2794573T3/es?q=ES2794573T3>

AWS. (2025). *¿Qué es una API? - Explicación de interfaz de programación de aplicaciones* - AWS. Amazon Web Services, Inc.
<https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>

Cabanillas-Carbonell, M., Cusi-Ruiz, P., Prudencio-Galvez, D., & Herrera Salazar, J. L. (2022). Mobile Application with Augmented Reality to Improve the Process of Learning Sign Language. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 16(11), 51-64. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i11.29717>

Carguacundo, M., & Constante, P. (2019). Traductor de texto y voz a lengua de señas ecuatoriana a través de un avatar implementado para dispositivos Android. *Infociencia*, 12(1), 20. <https://doi.org/10.24133/infociencia.v12i1.1226>

Castillo, J. R. (2021). Intérprete de Lengua de Señas Mexicana en el ámbito educativo: Una identidad en construcción. *Congreso Nacional de Investigación Educativa*, 6.

Charles Leifer. (2024). *Pysqlite3 0.5.4* (Versión 0.5.4) [C, Python; MacOS:: MacOS X, Microsoft:: Windows, POSIX]. <https://github.com/coleifer/pysqlite3>

CONADIS. (2025). *Lengua de Señas Mexicana (LSM)*. Lengua de Señas Mexicana (LSM). <http://www.gob.mx/conadis/articulos/lengua-de-senas-mexicana-lsm>

Consumidor, P. F. del. (2025). *Aparatos auxiliares para la movilidad de personas*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/profeco/documentos/aparatos-auxiliares-para-la-movilidad-de-personas?state=published>

Cork, W., Case, B., Krause, K., Min, K., & Moskal, W. (2022). *Head-mounted display device for use in a medical facility* (United States Patent No. US11436829B2). <https://patents.google.com/patent/US11436829B2/en?q=US11436829B2>

Corte, Á. A. (2013). *La adquisición y el desarrollo lingüístico de los hablantes de herencia de español*.

Cruz Aldrete, M. (2008). *Gramática de la Lengua de Señas Mexicanas* [COLEGIO DE MÉXICO]. <https://hdl.handle.net/20.500.11986/COLMEX/10001268>

Emmorey, K. (2023). Ten Things You Should Know About Sign Languages. *Current Directions in Psychological Science*, 32(5), 387-394. <https://doi.org/10.1177/09637214231173071>

Estrada, R. C. R., Hernández-Sánchez, A. L., Aguilar-Díaz, D. A., & Pérez-Sánchez, J. M. (2024). Sensores y tipos de sensores. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.29057/estr.v11i21.11779>

Explosion. (2024). *Spanish · spaCy Models Documentation*. Trained Pipelines. <https://spacy.io/models/es/>

Farooq, U., Rahim, M. S. M., Sabir, N., Hussain, A., & Abid, A. (2021). Advances in machine translation for sign language: Approaches, limitations, and

challenges. *Neural Computing and Applications*, 33(21), 14357-14399.
<https://doi.org/10.1007/s00521-021-06079-3>

Gobierno de México. (2025). *DOF - Diario Oficial de la Federación*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2044351&fecha=10/06/2005#gsc.tab=0.

Gómez, F. S. J. (2016). La Comunicación. *Salus*, 20(3), 5-6.

Google Cloud. (2025). *IA de Speech-to-Text: Reconocimiento y transcripción de voz*. Google Cloud. <https://cloud.google.com/speech-to-text>

Hernandez Suarez, C. A., Pulido, J. L., & Arias, J. E. (2015). Las tecnologías de la información en el aprendizaje de la lengua de señas. *Revista de Salud Pública*, 17(1), 61-73. <https://doi.org/10.15446/rsap.v17n1.36935>

Hoellwarth, Q. C. (2023). *Head-mounted display apparatus for retaining a portable electronic device with display* (United States Patent No. US11716412B2). <https://patents.google.com/patent/US11716412B2/en?q=US17572270>

ISSSTE. (2023). *Hablemos de Discapacidad*. gob.mx.
<http://www.gob.mx/issste/articulos/hablemos-de-discapacidad?idiom=es>

Joshi, A., Bhat, A., S, P., Gole, P., Gupta, S., Agarwal, S., & Modi, A. (2022). CISLR: Corpus for Indian Sign Language Recognition. *Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 10357-10366.
<https://doi.org/10.18653/v1/2022.emnlp-main.707>

Kusters, A., & Lucas, C. (2022). Emergence and evolutions: Introducing sign language sociolinguistics. *Journal of Sociolinguistics*, 26(1), 84-98.
<https://doi.org/10.1111/josl.12522>

Li, S., Huang, M., Dong, M., ZHENG, Y., HUANG, K., Zhang, H., & Tang, W. (2017). *Dispositivo, sistema y método de comunicación de tipo gafa* (Patent No. ES2631684T3).
<https://patents.google.com/patent/ES2631684T3/es?q=ES2631684T3>

López B., D., Martínez S., M., & Escobar C., G. (2016). *Manual De Gramática LSM* (Vol. 1). Mariángel. <https://www.calameo.com/read/0001639034c5089940816>

López García, L. A., Cervantes, R. M. R., Martínez, M. G. Z., & Sosa, S. S. E. (2006). *Mis manos que hablan*. TRILLAS.

Magyari, D. P. (2022). *Hybrid reflective/refractive head mounted display* (United States Patent No. US20220082843A1).
<https://patents.google.com/patent/US20220082843A1/en?q=US20220082843A1>

María Teresa Calvo Hernández. (2012). *EL LÉXICO ESPAÑOL-LENGUA DE SEÑAS MEXICANA: UN CORPUS BILINGÜE* [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO]. <http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0686983/Index.html>

Medina, P. (2015). Saussure: El signo lingüístico y la teoría del valor. *Las nubes*, 17, 1-12.

NLTK Project. (2025). *NLTK:: nltk.tokenize package*. Documentation.
https://www.nltk.org/api/nltk.tokenize.html#nltk.tokenize.word_tokenize

Núñez-Marcos, A., Perez-de-Viñaspre, O., & Labaka, G. (2023). A survey on Sign Language machine translation. *Expert Systems with Applications*, 213, 118993. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118993>

OMS, O. M. de la S. (2023, marzo 7). *Discapacidad*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

Osterhout, R. F., & Lohse, R. M. (2019). *Method and apparatus for biometric data capture* (United States Patent No. US10268888B2). <https://patents.google.com/patent/US10268888B2/en?q=US10268888B2>

PJECZ. (2025). *30 de septiembre—Día Internacional de las Personas Sordas*. Poder Judicial del Estado de Coahuila de Zaragoza. <https://www.pjecz.gob.mx/derechos-humanos-e-igualdad-de-genero/sabias-que/septiembre/30-de-septiembre---dia-internacional-de-las-personas-sordas/>

PRUTHI, T., & Chabot, X. (2015). *Integration of hearing aids with smart glasses to improve intelligibility in noise* (World Intellectual Property Organization Patent No. WO2015017007A1). <https://patents.google.com/patent/WO2015017007A1/en?q=WO2015017007A1>

Python.org. (2025). *Download Python*. Python.Org. <https://www.python.org/downloads/>

Raspberry Pi. (2025). *Raspberry Pi OS*. Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.com/software/>

Rojas Hernández, R., González Jaimes, E. I., Trujillo Mora, V., López Chau, A., & González Morán, C. O. (2023). Impacto del sistema para la enseñanza y traducción de la lengua de señas mexicana UAEMex en instituciones públicas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 822-838. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4434

Sanaullah, M., Ahmad, B., Kashif, M., Safdar, T., Hassan, M., Hilmi Hasan, M., & Aziz, N. (2022). A Real-Time Automatic Translation of Text to Sign Language. *Computers, Materials & Continua*, 70(2), 2471-2488. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.019420>

Smalley, P. P., Ian. (2024, mayo 10). *¿Qué es una unidad central de procesamiento (CPU)?* | IBM. <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/central-processing-unit>

Solomon Systech. (2024). *SSD1309*. Buydisplay. <https://www.buydisplay.com/download/ic/SSD1309.pdf>

SQLite. (2025). *About SQLite*. About SQLite. <https://sqlite.org/about.html>

Stoll, S., Camgoz, N. C., Hadfield, S., & Bowden, R. (2020). Text2Sign: Towards Sign Language Production Using Neural Machine Translation and Generative Adversarial Networks. *International Journal of Computer Vision*, 128(4), 891-908. <https://doi.org/10.1007/s11263-019-01281-2>

Triana, D. C. (2019). La “función interpretativa” como herramienta lingüística para la investigación cualitativa. *El Ornitorrinco Tachado. Revista de Artes Visuales*, (10), 59-71.

Vásquez, A. C., Quispe, J. P., & Huayna, A. M. (2009). Procesamiento de lenguaje natural. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 6(2), 45-54.

worldometers. (2023). *Población Mundial: Nan Billones de Personas (2023)* - Worldometer. <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/>

チャンホン, Zhang H., チャンホン, イソン-ジュ, Lee S.-J., イソン-ジュ, オユ-イ, Oh Y.-L., オユ-イ, イユン-グン, Lee Y.-G., & イユン-グン. (2015). スマートメガネを用いた外国語学習システム及びその方法 (Patent No. JP2015041101A). <https://patents.google.com/patent/JP2015041101A/en?q=JP2014062320A>

严晨雪, 祁宏宇, 周浩, & 陈开鑫. (2023). 一种用于语音识别和手语识别的智能眼镜 (China Patent No. CN218886714U). <https://patents.google.com/patent/CN218886714U/en?q=CN218886714U>

刘锐. (2020). 一种唤醒智能设备进行语音识别的方法、智能设备和介质 (China Patent No. CN107103906B). <https://patents.google.com/patent/CN107103906B/en?q=CN201710300244>

杨久霞, 白峰, & 白冰. (2015). 智能眼镜及其控制方法 (World Intellectual Property Organization Patent No. WO2015081694A1). <https://patents.google.com/patent/WO2015081694A1/en?q=PCTCN2014081282>

石城川, & 陈国强. (2016). 用于语音识别和手语识别的智能眼镜 (China Patent No. CN106205293A). <https://patents.google.com/patent/CN106205293A/en?q=CN106205293A>

Anexo A

Este anexo presenta el código utilizado para el funcionamiento del prototipo.

Programa principal

```
# Programa principal del interprete de lengua de señas mexicanas
from reconocimiento_voz_2 import voz_a_texto
from procesamiento_texto_2 import procesar_texto
from busqueda_db_2 import buscar_en_db
from imagenes_texto import mostrar_imagenes
from guardar_texto import guardar_texto

import tkinter as tk
import threading
import time

# Variable de control del bucle
running = False

def proceso():
    global running
    while running:
        texto_capturado = voz_a_texto()

        # Ejecutar todo el proceso

        if texto_capturado:
            # Procesar el texto
            sov_orden, tlvsv_orden = procesar_texto(texto_capturado)
            # Guardar textos
            guardar_texto(texto_capturado, sov_orden, tlvsv_orden)
            # Buscar en la base de datos las palabras organizadas
            palabras_buscar = set(sov_orden + tlvsv_orden)
            resultados_db = buscar_en_db(palabras_buscar)
            print(palabras_buscar) #palabras en el arreglo
            # Mostrar resultados de la base de datos
            print("\n--- Resultados de la base de datos ---")
            for palabra, direccion in resultados_db:
                print(f"Palabra: {palabra}, Dirección: {direccion}")

            # Mostrar los resultados de las reglas implementadas
            print("\n--- Resultados según reglas (usando lemas) ---")
            print(f"Regla 1 (Sujeto-Objeto-Verbo): {' '.join(sov_orden)}")
            print(f"Regla 2 (Tiempo-Lugar-Sujeto-Verbo): {' '.join(tlvsv_orden)}")

            # Mostrar las imágenes encontradas
            if resultados_db:
                mostrar_imagenes(resultados_db, texto_capturado)
            else:
                mostrar_imagenes([], texto_capturado)
                print("No se encontraron imágenes para las palabras.")

        if not running:
            break

def toggle_bucle():
    global running
    if not running:
        running = True
        boton.config(text="Detener")
        threading.Thread(target=proceso, daemon=True).start()
    else:
        running = False
        boton.config(text="Iniciar")

# Interfaz gráfica
ventana = tk.Tk()
ventana.title("Control de Ejecución")
ventana.geometry("200x150")

boton = tk.Button(ventana, text="Iniciar", command=toggle_bucle, font=("Arial", 14), bg="lightblue")
boton.pack(pady=40)

ventana.mainloop()
```

Función voz_a_texto

```
import speech_recognition as sr

# Función para transformar voz a texto
def voz_a_texto():
    recognizer = sr.Recognizer()
    recognizer.energy_threshold = 300 # Ajustar la sensibilidad del micrófono
    with sr.Microphone() as source:
        print("Ajustando el ruido ambiental... Un momento.")
        recognizer.adjust_for_ambient_noise(source, duration=1) # Ajuste del ruido ambiental
        print("Por favor, hable ahora...")
    try:
        audio = recognizer.listen(source, timeout=8, phrase_time_limit=20) # Tiempo límite
        texto = recognizer.recognize_google(audio, language='es-MX')
        print(f"Texto capturado: {texto}")
        return texto
    except sr.WaitTimeoutError:
        print("No se detectó voz a tiempo.")
    except sr.UnknownValueError:
        print("No se pudo entender el audio")
    except sr.RequestError as e:
        print(f"Error en el servicio de reconocimiento de voz: {e}")
    return None
```

Función procesar_texto

```
import nltk
import spacy
from nltk.corpus import stopwords
from nltk.tokenize import word_tokenize

# Cargar el modelo de SpaCy en español
nlp = spacy.load('es_core_news_sm')

# Descargar las stopwords de NLTK en español
nltk.download('stopwords')
nltk.download('punkt')
nltk.download('punkt_tab')
stop_words = set(stopwords.words('spanish'))
palabras utiles = {"estar", "qué"}

# Lista de saludos que deben ir al inicio
saludos = ['hola', 'buenos días', 'buenas tardes', 'buenas noches']

# Función para procesar el texto y reorganizar según las reglas
def procesar_texto(texto):
    # Tokenización
    tokens = word_tokenize(texto, language='spanish')

    # Lematización y POS tagging con spaCy
    doc = nlp(' '.join(tokens))

    # Listas para organizar palabras según las reglas
    sujetos = []
    objetos = []
    verbos = []
    tiempos = []
    lugares = []
    otros = []
    saludo_detectado = None

    # Mostrar palabras, lemas y etiquetas POS
    print(f"{'Palabra':<15} {'Lema':<15} {'POS':<10} {'Dependencia':<15}")
    print("-" * 50)
    for token in doc:
        print(f"{token.text:<15} {token.lemma_:<15} {token.pos_:<10} {token.dep_:<15}")
        if token.lemma_.lower() not in stop_words - palabras utiles:
            # Clasificación básica por POS usando lemas
            if token.pos_ == 'NOUN' and token.pos_ == 'PRON': # sujeto nominal
                sujetos.append(token.lemma_)
            elif token.dep_ == 'obj': # objeto directo
                objetos.append(token.lemma_)
            elif token.pos_ == 'VERB': # verbos
                verbos.append(token.lemma_)
            elif token.pos_ == 'ADV' or token.dep_ == 'obl:tmod': # tiempo
                tiempos.append(token.lemma_)
            elif token.dep_ == 'obl' and token.pos_ == 'NOUN': # lugar
                lugares.append(token.lemma_)
            else:
                otros.append(token.lemma_)

    # Detectar saludos (sin lematizar porque son expresiones fijas)
    if token.text.lower() in saludos:
        saludo_detectado = token.text.lower()

    # Reglas de organización
    # 1. Sujeto-Objeto-Verbo (SOV)
    sov_orden = sujetos + objetos + verbos + otros
```

```
# 2. Tiempo-Lugar-Sujeto-Verbo (TLSV)
tlsv_orden = tiempos + lugares + sujetos + verbos + otros

# Insertar saludo al inicio si fue detectado
if saludo_detectado:
    sov_orden = [saludo_detectado] + sov_orden
    tlsv_orden = [saludo_detectado] + tlsv_orden

return sov_orden, tlsv_orden
```

Función buscar_en_db

```
import sqlite3

# Función para buscar en la base de datos SQLite
def buscar_en_db(palabras_buscar):
    # Conectarse a la base de datos SQLite
    conn = sqlite3.connect('lsm.db')
    cursor = conn.cursor()

    # Lista para almacenar las direcciones encontradas
    direcciones = []

    for palabra in palabras_buscar:
        cursor.execute("SELECT pictograma_lsm.pictograma_dir FROM palabras_lsm JOIN pictograma_lsm ON palabras_lsm.pictogramaID = pictograma_lsm.pictogramaID WHERE palabras_lsm.palabra = ?", (palabra,))
        resultado = cursor.fetchone()
        if resultado:
            direcciones.append((palabra, resultado[0]))

    conn.close()

    return direcciones
```

Función mostrar_imagenes

```
import matplotlib.pyplot as plt
import os

def mostrar_imagenes(direcciones, texto_capturado):
    if not direcciones or isinstance(direcciones, set):
        direcciones = []

    if not direcciones:
        # Si no hay imágenes, mostrar solo el texto capturado
        fig, ax = plt.subplots(figsize=(6, 2))
        ax.text(0.5, 0.5, texto_capturado, ha='center', va='center', fontsize=14, bbox=dict(facecolor='white', alpha=0.8))
        ax.set_axis_off() # Ocultar ejes completamente
        plt.show()
        return

    fig, axs = plt.subplots(1, len(direcciones), figsize=(2.5, 1.5)) # Crear una fila con un subgráfico por imagen
    if len(direcciones) == 1:
        axs = [axs] # Convertir en lista si solo hay una imagen

    for ax, (palabra, direccion) in zip(axs, direcciones):
        # Construir la ruta de la imagen
        ruta_imagen = os.path.join(os.getcwd(), 'pic_lsm', direccion)

        if os.path.exists(ruta_imagen):
            img = plt.imread(ruta_imagen) # Cargar imagen desde el archivo
            ax.imshow(img) # Mostrar la imagen
            # ax.set_title(palabra) # Añadir el título con la palabra
            ax.axis('off') # Ocultar los ejes

    # Agregar el texto capturado en la ventana
    fig.text(0.5, 0.05, texto_capturado, ha='center', fontsize=12, bbox=dict(facecolor='white', alpha=0.8))

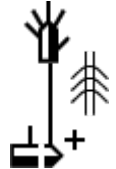
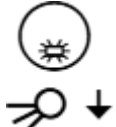
    plt.tight_layout(rect=[0, 0.1, 1, 1]) # Ajustar el diseño dejando espacio para el texto
    plt.show() # Mostrar la ventana con las imágenes
```

Anexo B

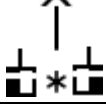
Este anexo representa el contenido de la base de datos utilizada en este trabajo.

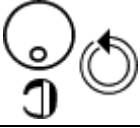
Listado de palabras y pictogramas contenidos en la base de datos utilizada

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
1	1	Primer número natural.	
2	10	Décimo número natural.	  
3	11	Undécimo número natural.	 
4	12	Duodécimo número natural.	 
5	13	Decimotercer número natural.	 
6	14	Decimocuarto número natural.	 
7	15	Decimoquinto número natural.	  
8	2	Segundo número natural.	
9	20	Vigésimo número natural.	 
10	3	Tercer número natural.	
11	30	Trigésimo número natural.	 
12	4	Cuarto número natural.	
13	40	Cuadragésimo número natural.	

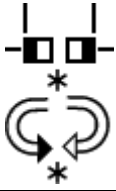
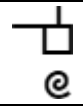
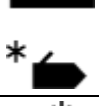
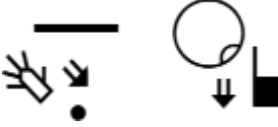
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
14	5	Quinto número natural.	
15	6	Sexto número natural.	
16	7	Séptimo número natural.	
17	8	Octavo número natural.	
18	9	Noveno número natural.	
19	a	Primera letra del abecedario español.	
20	aburrido	Que no divierte o entretiene.	
21	adiós	Expresión de despedida.	
22	amigo	Persona con la que se tiene amistad.	
23	amistad	Sentimiento de afecto y confianza entre personas.	
24	amor	Sentimiento de afecto intenso hacia otra persona.	
25	aniversario	Fecha en que se cumple un número de años de un acontecimiento.	
26	árbol	Planta leñosa que se ramifica a cierta altura del suelo.	
27	avisar	Notificar, informar.	
28	avión	Aeronave más pesada que el aire que se sostiene por medio de alas fijas.	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
29	ayer	En el día anterior al presente.	
30	año	Período de doce meses.	
31	b	Segunda letra del abecedario español.	
32	baño	Habitación destinada al aseo personal.	
33	beber	Ingerir un líquido.	
34	besar	Tocar con los labios en señal de cariño o saludo.	
35	bien	De manera correcta o adecuada.	
36	buen	Que tiene buenas cualidades.	
37	buscar	Intentar encontrar algo.	
38	c	Tercera letra del abecedario español.	
39	cada	Uno de los elementos de un conjunto.	
40	café	Bebida caliente que se hace con los granos tostados y molidos de la planta del café.	
41	caliente	Que tiene una temperatura elevada.	
42	cama	Mueble para dormir.	
43	camino	Vía para transitar.	
44	cariño	Afecto, ternura.	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
45	carne	Tejido muscular de los animales.	
46	cartera	Objeto pequeño para llevar dinero y documentos.	
47	casa	Edificio para habitar.	
48	cereal	Planta cuyo grano se utiliza para la alimentación.	
49	cien	Número natural que sigue al noventa y nueve y precede al ciento uno.	
50	cómo	De qué manera.	
51	compartir	Dar a otros parte de lo que se tiene.	
52	comunidad	Conjunto de personas que viven juntas y comparten intereses.	
53	confiar	Tener seguridad en alguien o algo.	
54	contento	Que siente alegría o satisfacción.	
55	contigo	Contigo mismo.	

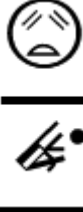
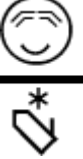
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
56	corazón	Órgano muscular que bombea la sangre.	
57	cosas	Objetos, asuntos.	
58	cuando	En qué momento.	
59	cuidar	Atender a alguien o algo con esmero.	
60	cultura	Conjunto de conocimientos, ideas, tradiciones y costumbres de un pueblo.	
61	curiosidad	Deseo de saber o aprender algo.	
62	d	Cuarta letra del abecedario español.	
63	decir	Manifestar con palabras.	
64	deletrear	Nombrar las letras de una palabra.	
65	despertar	Interrumpir el sueño.	
66	días	Plural de día.	
67	diferente	Que no es igual.	
68	dios	Ser supremo.	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
69	doctor	Médico.	
70	donde	En qué lugar.	
71	dormir	Descansar, suspender la actividad consciente.	
72	día	Período de 24 horas.	
73	e	Quinta letra del abecedario español.	
74	edificio	Construcción grande.	
75	enojar	Sentir ira.	
76	escribir	Representar ideas o palabras con letras.	
77	escuela	Lugar donde se enseña.	
78	estar	Hallarse en un lugar o situación.	
79	f	Sexta letra del abecedario español.	
80	familia	Grupo de personas emparentadas.	
81	fecha	Día del calendario.	
82	feliz	Que siente alegría.	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
83	frio	Que tiene una temperatura baja.	
84	futuro	Tiempo que está por venir.	
85	g	Séptima letra del abecedario español.	
86	gracias	Expresión de agradecimiento.	
87	gritar	Elevar la voz.	
88	grupo	Conjunto de personas o cosas.	
89	gustar	Agradar.	
90	h	Octava letra del abecedario español.	
91	haber	Existir.	
92	habitación	Espacio de una casa.	
93	hermano	Persona que tiene los mismos padres que otra.	
94	hija	Mujer respecto de sus padres.	
95	hijo	Hombre respecto de sus padres.	

palabra ID	palabra	Descripción	pictogramaID
96	historia	Relato de acontecimientos pasados.	
97	hola	Expresión de saludo.	
98	hombre	Ser humano masculino.	
99	hora	Unidad de tiempo equivalente a 60 minutos.	
100	i	Novena letra del abecedario español.	
101	ignorante	Que no sabe.	
102	igual	Idéntico.	
103	intentar	Tratar de hacer algo.	
104	j	Décima letra del abecedario español.	
105	k	Undécima letra del abecedario español.	
106	l	Duodécima letra del abecedario español.	
107	leche	Líquido blanco que secretan las hembras de los mamíferos.	

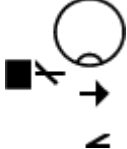
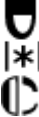
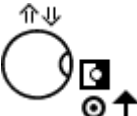
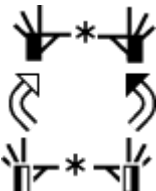
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
108	leer	Pasar la vista por un texto para comprenderlo.	
109	lento	Que se mueve despacio.	
110	libro	Conjunto de hojas escritas.	
111	ll	Letra del abecedario español.	
112	lsm	Lengua de Señas Mexicana.	
113	lugar	Sitio, paraje.	
114	lástima	Pena, dolor.	
115	m	Decimotercera letra del abecedario español.	
116	mamá	Madre o progenitora.	
117	mañana	Parte del día que sigue a la noche.	
118	mejor	Superior.	
119	mes	Período de tiempo de aproximadamente 30 días.	
120	mesa	Mueble compuesto de un tablero horizontal sostenido por una o varias patas.	

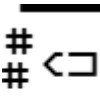
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
121	miedo	Temor, susto.	
122	milagro	Suceso extraordinario.	
123	mío	Perteneciente a mí.	
124	muchas gracias	Expresión de agradecimiento.	
125	mujer	Ser humano femenino.	
126	museo	Lugar donde se exhiben objetos de interés cultural.	
127	n	Decimocuarta letra del abecedario español.	
128	nacer	Venir al mundo.	
129	navidad	Festividad del nacimiento de Jesucristo.	
130	nervioso	Que padece de los nervios.	
131	niño	Persona de corta edad.	

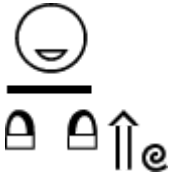
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
132	no haber	No existir.	
133	no tener	Carecer de algo.	
134	noche	Parte del día en que no hay luz solar.	
135	notas	Apuntes, anotaciones.	
136	nuestra	Perteneciente a nosotros.	
137	nuevo	Recién hecho o estrenado.	
138	o	Decimoquinta letra del abecedario español.	
139	olvidar	Dejar de recordar.	
140	genuino	El unico o el oficial	
141	auténtico	El unico o el oficial	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
142	oficial	El unico o el oficial	
143	original	Auténtico, genuino.	
144	p	Decimosexta letra del abecedario español.	
145	papá	Padre o progenitor	
146	pararse	Sinonimo de levantarse	
147	parar	Sinonimo de levantarse	
148	pasado	Tiempo anterior al presente.	
149	perder	No encontrar algo que se tenía.	
150	perdón	Indulgencia, remisión de una falta.	
151	periódico	Publicación que aparece diariamente.	
152	permiso	Autorización.	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
153	sordo	Persona que no puede oír.	
154	persona	Individuo de la especie humana.	
155	pescado	Animal acuático comestible.	
156	por favor	Expresión de cortesía para pedir algo.	
157	pregunta	Cuestión que se hace a alguien para que responda.	
158	presidente	Persona que preside un gobierno.	
159	q	Decimoséptima letra del abecedario español.	
160	qué	Pronombre relativo, usado para preguntar.	
161	r	Decimoctava letra del abecedario español.	
162	regalar	Dar algo a alguien sin esperar nada a cambio.	
163	repetir	Volver a	

palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
164	rey	Monarca de un reino.	
165	rio	Corriente de agua que desemboca en otra, en un lago o en el mar.	
166	rápido	Veloz, que se mueve con mucha velocidad.	
167	s	Decimonovena letra del abecedario español.	
168	saber	Tener conocimiento de algo.	
169	secreto	Cosa que se mantiene oculta.	
170	semana	Período de siete días.	
171	sentir	Experimentar sensaciones.	
172	si	Conjunción condicional.	
173	siempre	En todo momento.	
174	importante	Principalmente, más que nada.	
175	Sobre todo	Principalmente, más que nada.	

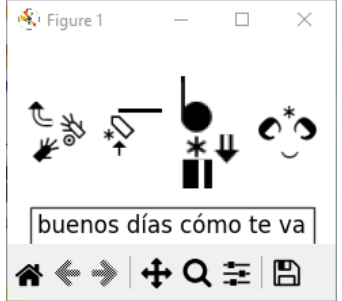
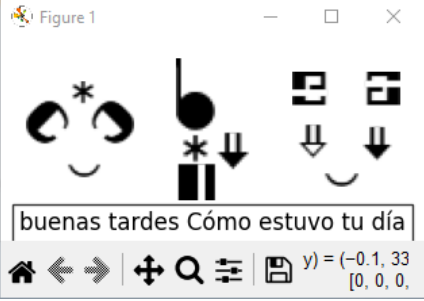
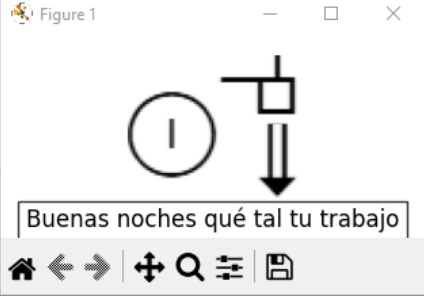
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
176	soldado	Persona que sirve en el ejército.	
177	soltero	Persona que no está casada.	
178	sordo	Que no puede oír.	
179	t	Vigésima letra del abecedario español.	
180	taco	Comida mexicana hecha con una tortilla rellena.	
181	tener	Poseer algo.	
182	todos	Cada uno de los individuos de un grupo.	
183	trabajar	Realizar una actividad a cambio de una remuneración.	
184	triste	Que siente tristeza.	
185	u	Vigésima primera letra del abecedario español.	
186	v	Vigésima segunda letra del abecedario español.	
187	vamos	Primera persona del plural del imperativo de ir.	
188	ver	Percibir con los ojos.	

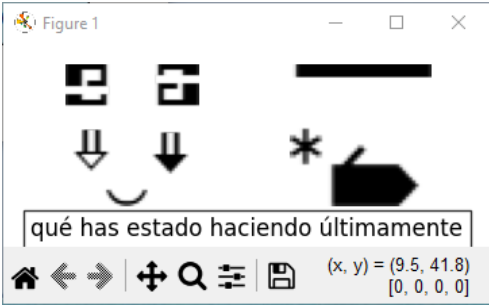
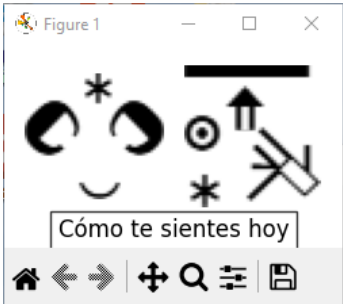
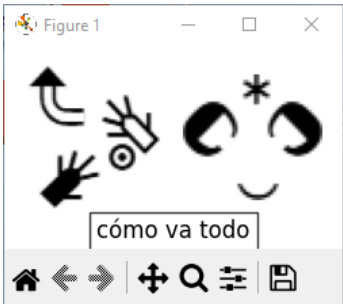
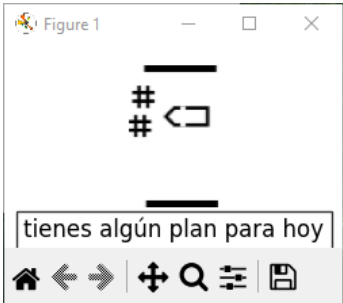
palabra ID	palabra	Descripcion	pictogramaID
189	viento	Corriente de aire.	
190	vivo	Que tiene vida.	
191	w	Vigésima tercera letra del abecedario español.	
192	agua	Líquido incoloro, inodoro e insípido.	
193	x	Vigésima cuarta letra del abecedario español.	
194	y	Vigésima quinta letra del abecedario español.	
195	yo	Pronombre personal de primera persona singular.	
196	z	Vigésima sexta letra del abecedario español.	

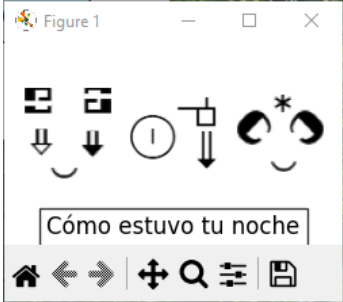
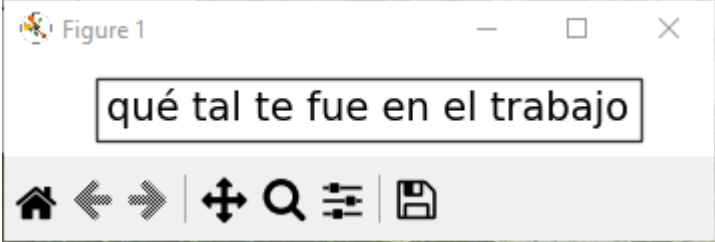
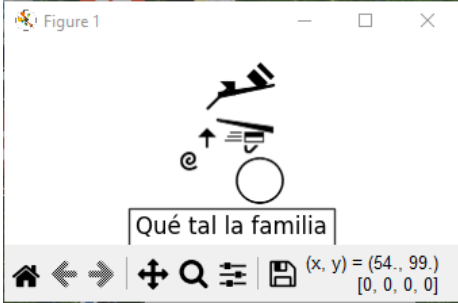
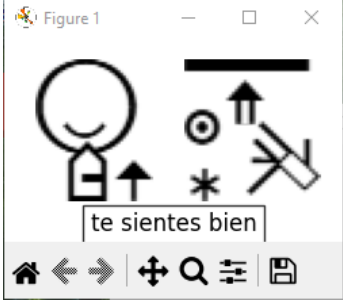
Anexo C

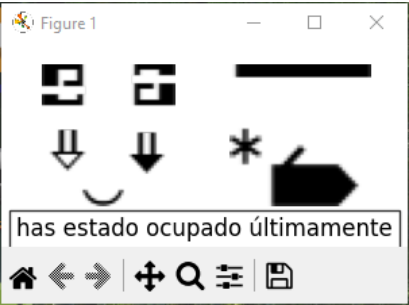
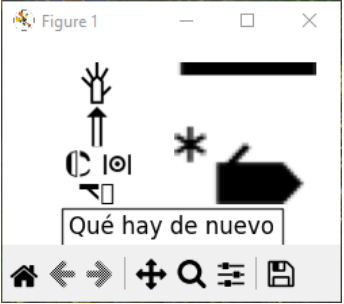
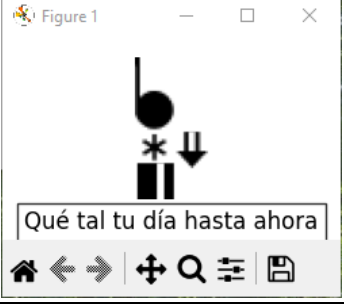
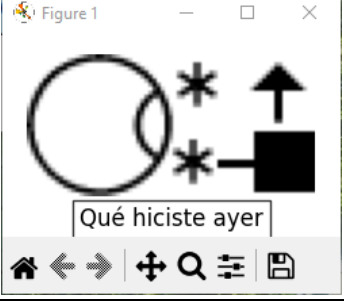
Este anexo presenta las pruebas locales realizadas con 100 frases para comprobar la transcripción de voz a texto y la presentación de pictogramas.

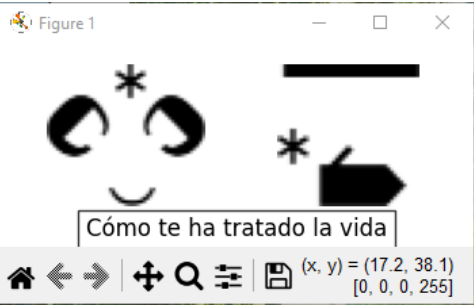
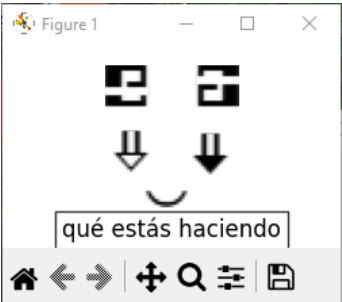
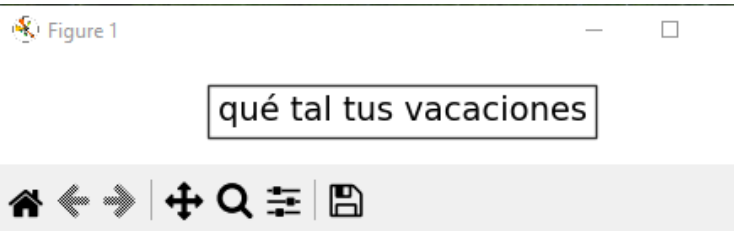
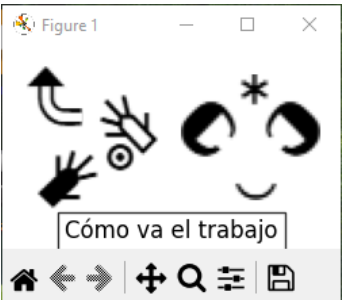
Respuesta obtenida de 100 frases y conteo de pictogramas presentados

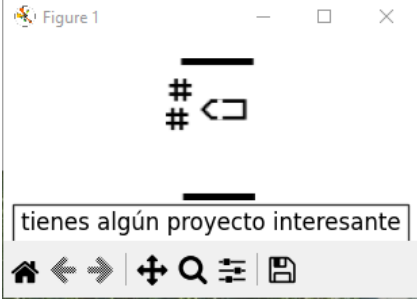
Frase	Resultado	# Pictogramas
Hola, ¿cómo estás?		3
Buenos días, ¿cómo te va?		4
Buenas tardes, ¿cómo estuvo tu día?		3
Buenas noches, ¿qué tal tu trabajo?		1

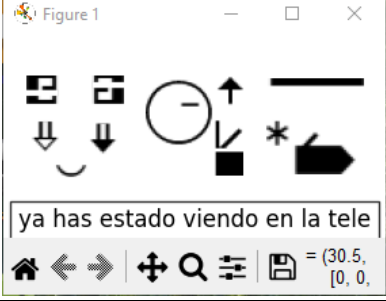
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué has estado haciendo últimamente?		2
¿Qué tal tu fin de semana?		1
¿Cómo te sientes hoy?		2
¿Cómo va todo?		2
¿Tienes algún plan para hoy?		1

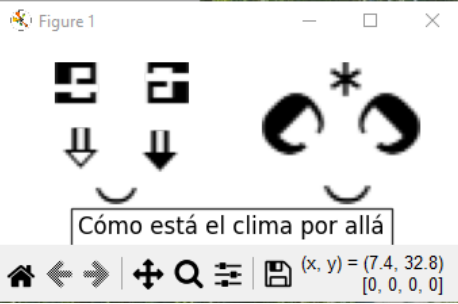
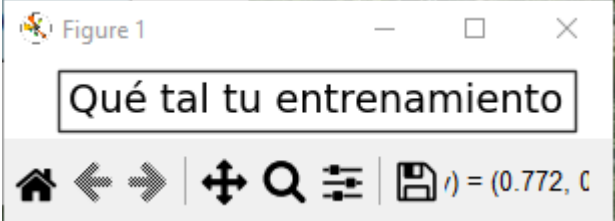
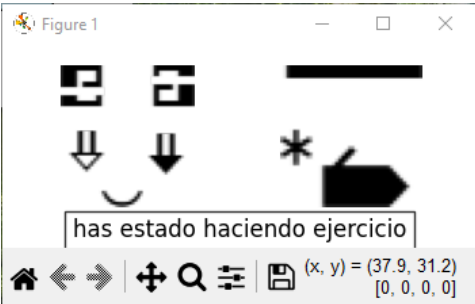
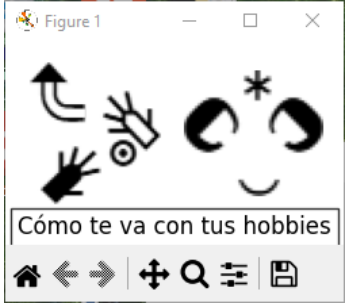
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué planes tienes para el fin de semana?		2
¿Cómo estuvo tu noche?		3
¿Qué tal te fue en el trabajo?		0
¿Qué tal la familia?		1
¿Te sientes bien?		2

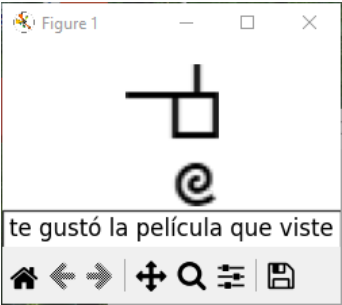
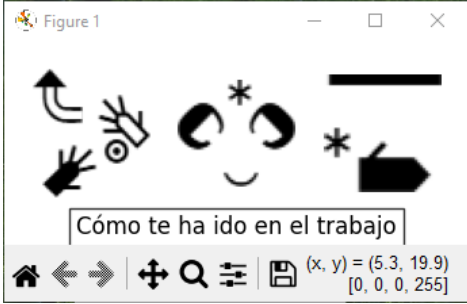
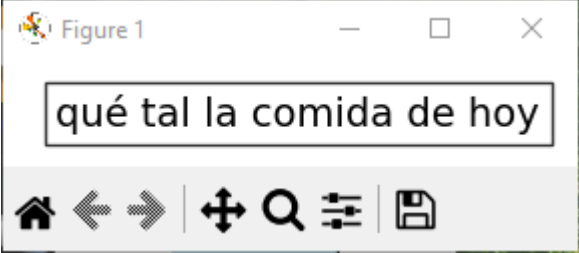
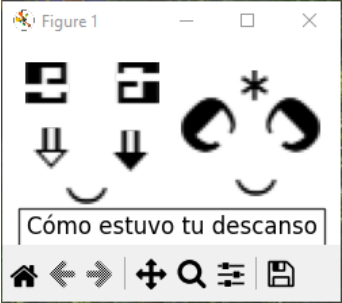
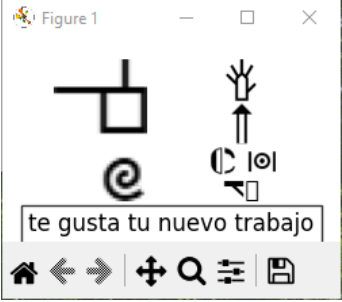
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Has estado ocupado últimamente?	 The screenshot shows a communication board titled 'Figure 1'. It contains several pictograms: a square with a smaller square inside, a square with a smaller square inside and a horizontal line, a downward arrow, a star, and a right-pointing arrow. Below the pictograms is a text box containing the phrase 'has estado ocupado últimamente'. At the bottom of the board is a navigation bar with icons for home, back, forward, search, and other functions.	2
¿Qué hay de nuevo?	 The screenshot shows a communication board titled 'Figure 1'. It contains several pictograms: a hand pointing up, a star, and a right-pointing arrow. Below the pictograms is a text box containing the phrase 'Qué hay de nuevo'. At the bottom of the board is a navigation bar with icons for home, back, forward, search, and other functions.	2
¿Cómo te ha ido?	 The screenshot shows a communication board titled 'Figure 1'. It contains several pictograms: a hand pointing up, a star, and a right-pointing arrow. Below the pictograms is a text box containing the phrase 'Cómo te ha ido'. At the bottom of the board is a navigation bar with icons for home, back, forward, search, and other functions.	3
¿Qué tal tu día hasta ahora?	 The screenshot shows a communication board titled 'Figure 1'. It contains several pictograms: a hand pointing up, a star, and a right-pointing arrow. Below the pictograms is a text box containing the phrase 'Qué tal tu día hasta ahora'. At the bottom of the board is a navigation bar with icons for home, back, forward, search, and other functions.	1
¿Qué hiciste ayer?	 The screenshot shows a communication board titled 'Figure 1'. It contains several pictograms: a hand pointing up, a star, and a right-pointing arrow. Below the pictograms is a text box containing the phrase 'Qué hiciste ayer'. At the bottom of the board is a navigation bar with icons for home, back, forward, search, and other functions.	1

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Cómo te ha tratado la vida?		2
¿Cómo estuvo tu fin de semana?		3
¿Qué estás haciendo?		1
¿Qué tal tus vacaciones?		0
¿Cómo va el trabajo?		2

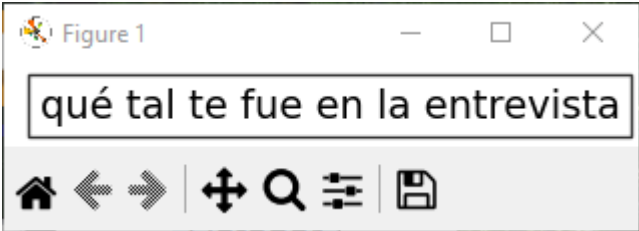
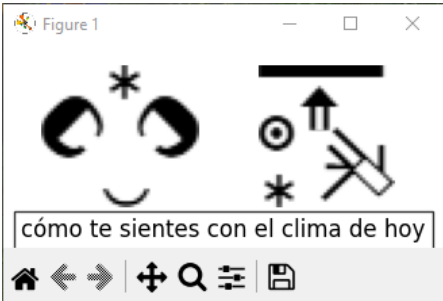
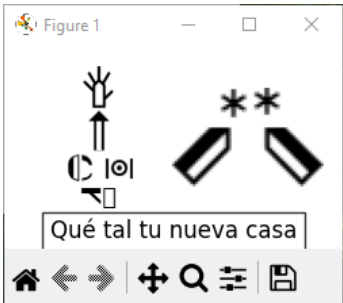
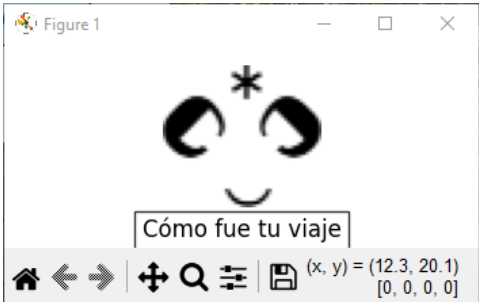
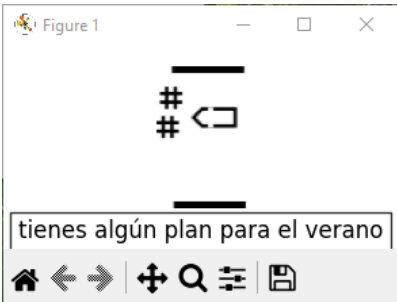
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Cómo van los estudios?		2
¿Qué tal te va en la escuela?		2
¿Tienes algún proyecto interesante?		1
¿Qué tal tu semana?		1
¿Cómo va todo en casa?		3

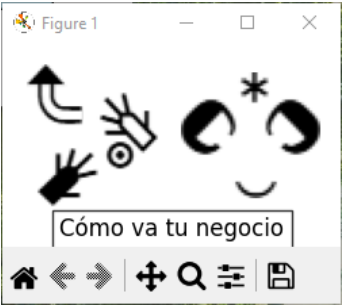
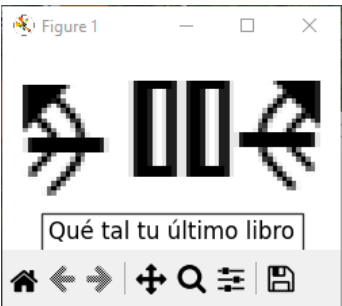
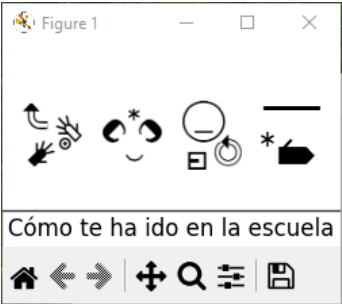
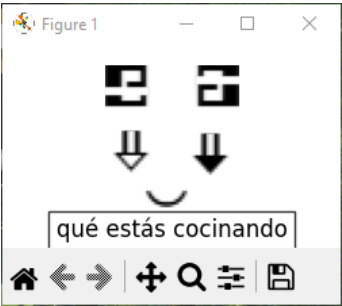
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal tus amigos?		1
¿Cómo te fue en la reunión?		1
¿Te sientes mejor?		2
¿Qué has estado viendo en la tele?		3
¿Has leído algo interesante últimamente?		1

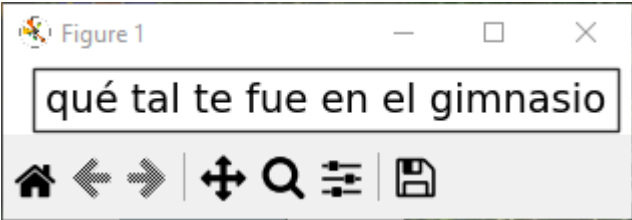
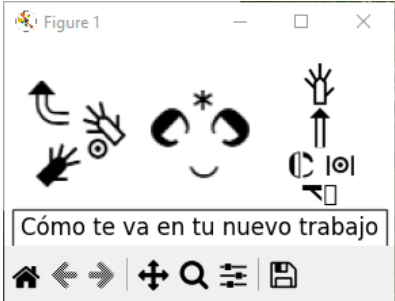
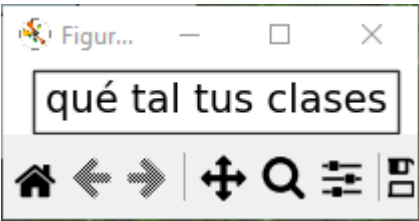
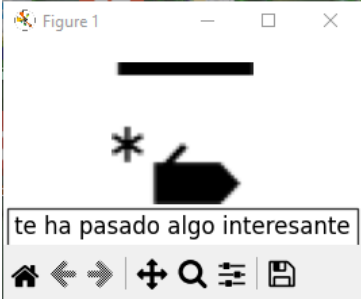
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué planes tienes para esta semana?		2
¿Cómo está el clima por allá?		2
¿Qué tal tu entrenamiento?		0
¿Has estado haciendo ejercicio?		2
¿Cómo te va con tus hobbies?		2

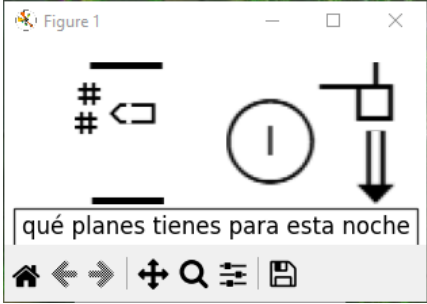
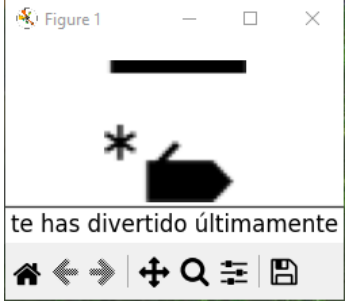
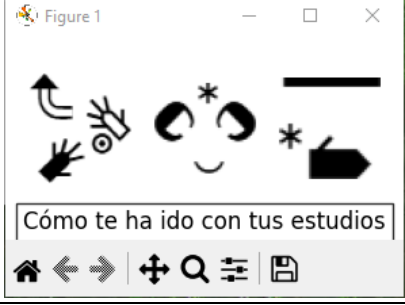
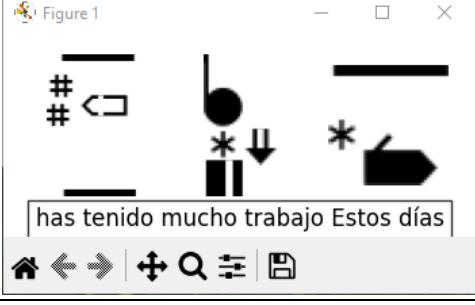
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Te gustó la película que viste?		1
¿Cómo te ha ido en el trabajo?		3
¿Qué tal la comida hoy?		0
¿Cómo estuvo tu descanso?		2
¿Te gusta tu nuevo trabajo?		2

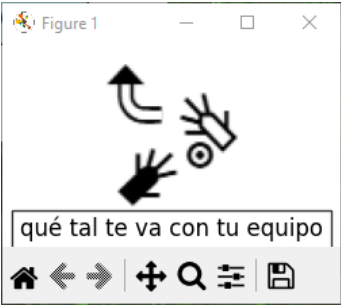
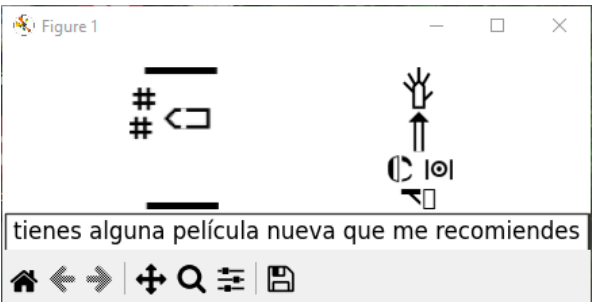
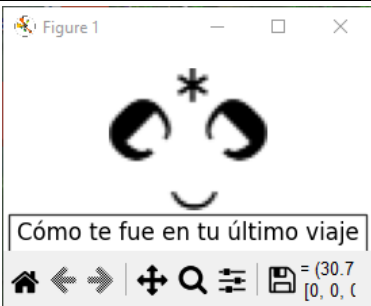
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal fue tu día ayer?		2
¿Cómo va tu proyecto?		2
¿Qué tal tu mañana?		1
¿Cómo están tus hijos?		3
¿Tienes alguna novedad que contar?		1

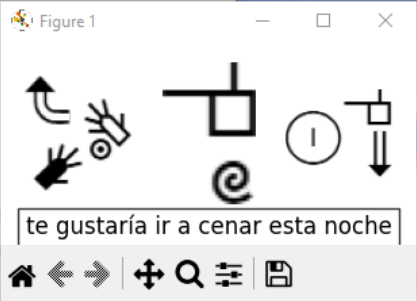
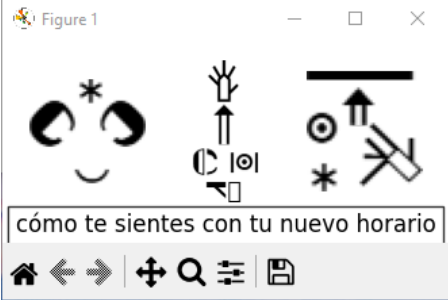
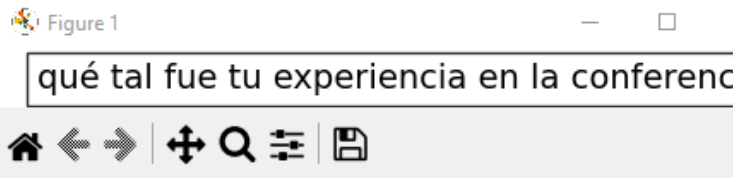
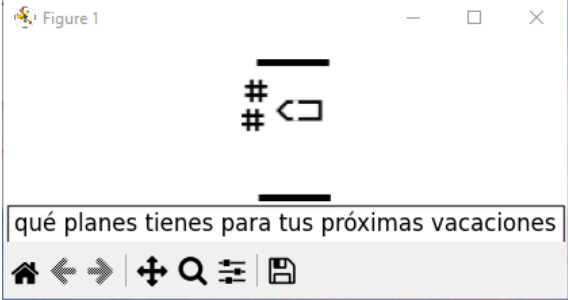
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal te fue en la entrevista?		0
¿Cómo te sientes con el clima de hoy?		2
¿Qué tal tu nueva casa?		2
¿Cómo fue tu viaje?		1
¿Tienes algún plan para el verano?		1

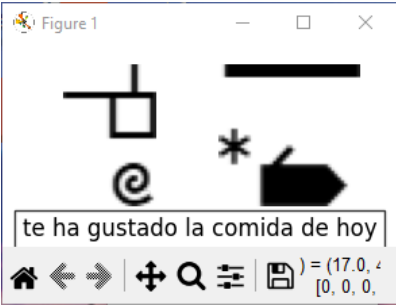
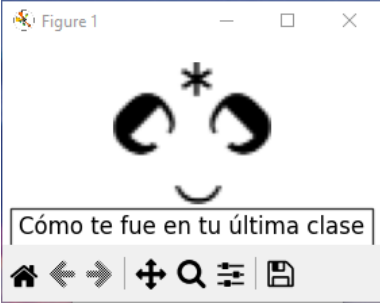
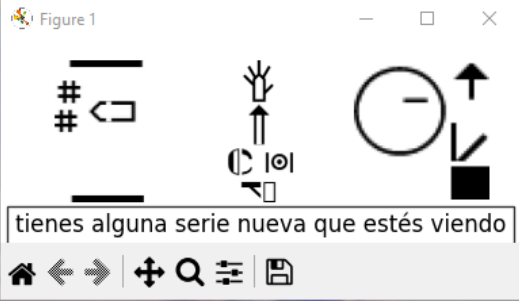
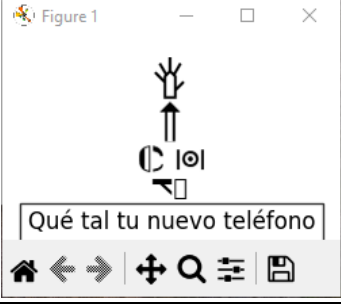
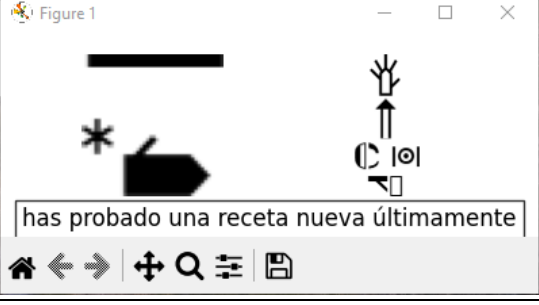
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Cómo va tu negocio?		2
¿Te gustaría salir este fin de semana?		2
¿Qué tal tu último libro?		1
¿Cómo te ha ido en la escuela?		4
¿Qué estás cocinando?		1

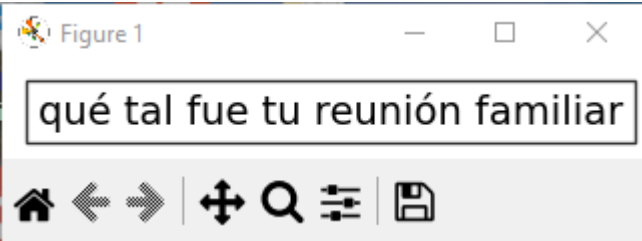
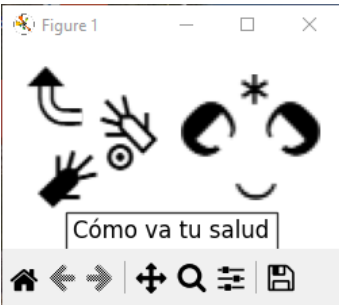
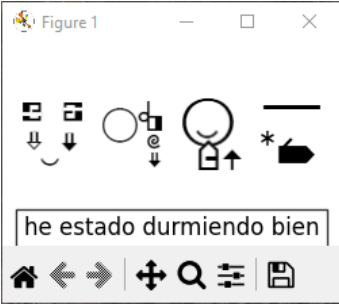
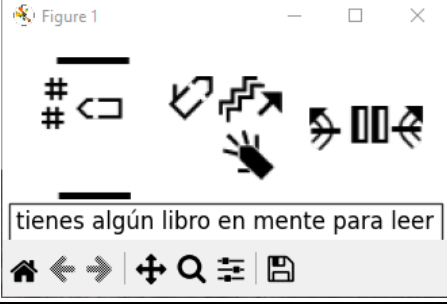
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal te fue en el gimnasio?		0
¿Cómo te va en tu nuevo trabajo?		3
¿Cómo va el proyecto que estás desarrollando?		3
¿Qué tal tus clases?		0
¿Te ha pasado algo interesante?		1

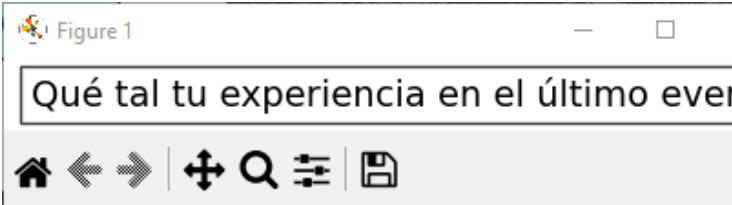
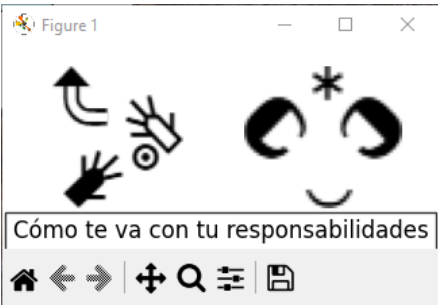
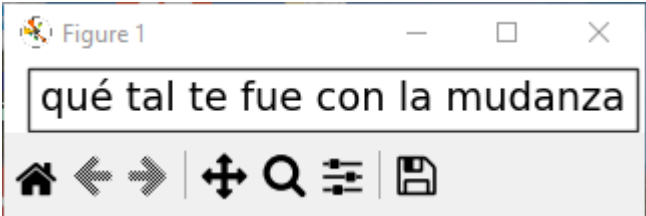
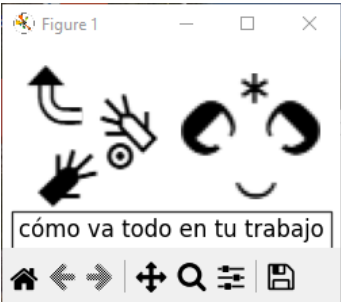
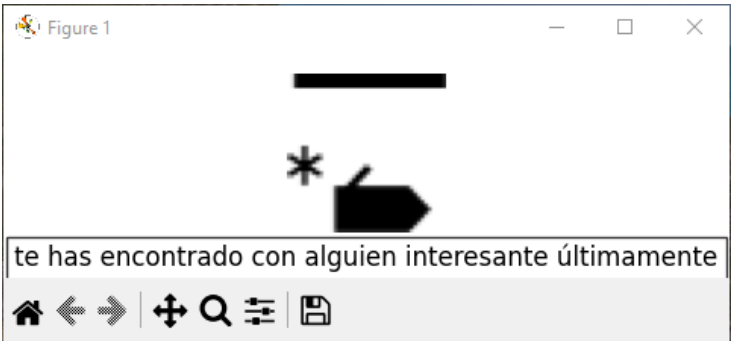
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Cómo van las cosas en tu vida?		2
¿Qué planes tienes para esta noche?		2
¿Te has divertido últimamente?		1
¿Cómo te ha ido con tus estudios?		3
¿Has tenido mucho trabajo estos días?		3

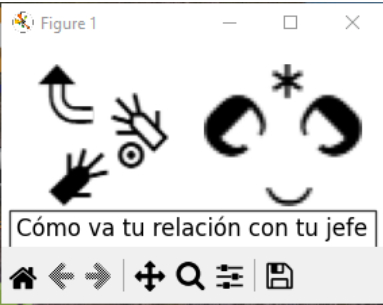
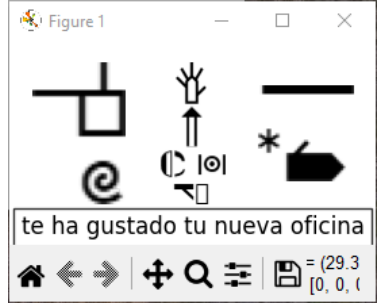
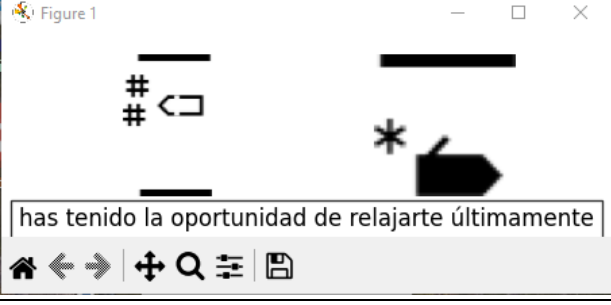
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal te va con tu equipo?		1
¿Cómo va tu familia?		3
¿Tienes alguna película nueva que me recomiendes?		2
¿Cómo te fue en tu último viaje?		1
¿Qué tal el tráfico hoy?		0

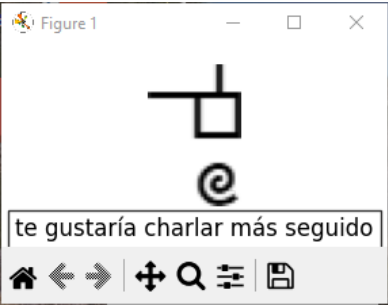
Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Te gustaría ir a cenar esta noche?		3
¿Cómo te sientes con tu nuevo horario?		3
¿Qué tal fue tu experiencia en la conferencia ?		0
¿Qué planes tienes para tus próximas vacaciones?		1
¿Cómo te ha ido con tu nueva mascota?		4

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Te ha gustado la comida de hoy?		2
¿Cómo fue en tu última clase?		1
¿Tienes alguna serie nueva que estés viendo?		3
¿Qué tal tu nuevo teléfono?		1
¿Has probado alguna receta nueva últimamente?		2

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal fue tu reunión familiar?		0
¿Cómo va tu salud?		2
¿Has estado durmiendo bien?		4
¿Cómo te ha tratado el tiempo últimamente?		2
¿Tienes algún libro en mente para leer?		3

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Qué tal tu experiencia en el último evento?		0
¿Cómo te va con tus responsabilidades?		2
¿Qué tal te fue con la mudanza?		0
¿Cómo va todo en tu trabajo?		2
¿Te has encontrado con alguien interesante últimamente?		1

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Cómo va tu relación con tu jefe?		2
¿Te ha gustado tu nueva oficina?		3
¿Qué tal te sientes respecto a tu última decisión?		1
¿Cómo va tu progreso en ese proyecto?		2
¿Has tenido la oportunidad de relajarte últimamente?		2

Frase	Resultado	# Pictogramas
¿Te gustaría charlar más seguido?		1

Anexo D

Este anexo contiene las evidencias de las actividades realizadas como retribución social y cursos realizados.

Participación en evento CITCA



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

Guillermo Rojas Solís

Por su valiosa participación como Personal de Apoyo en la organización y desarrollo del
3er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada (CITCA)
Llevado a cabo del 19 al 22 de noviembre de 2024 en las instalaciones del Tecnológico Nacional de
México campus Centro nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (TecNM/CENIDET)

Cuernavaca, Morelos, 22 de noviembre de 2024



G081524

<http://constancias.cenidet.tecnm.mx>

LORENZO O. HERNÁNDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

ALICIA MARTÍNEZ REBOLLAR
COORDINADORA GENERAL
III CITCA

Sello Digital:

TMv9hRsy+SzbEr2/3eXx4XeNLEW2gvEXRNmygBHgYzsw/QBSng/vIKetbEr+CpQ8vJxGrvTCLf+rHpqOLtQPV
pEigFcY/Mj/1isP0be2zp/284AqW28Ke1/DG1BB1FMinv+bE7dJ23xgns6ApFVQDfle0cU9FFJvBfB6KngSNh1
pdIqT8X7dD+bRTGaWipIYpsiFFxqk/1Pub0wyVxQUYKamH6pOg9meChC34vH3aFspwGPTRNibZtgxWcT2T4vFk
Dt3vtwvEajt0dZzTwI+kgvWBApAppkJyVgg2I0RTk0LcSM+JGqVLDLDFiJ+LVTtxdsCTIp9wbh/GFxIHOFR==

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

CITCA
3er CONGRESO INTERNACIONAL
DE TECNOLOGÍA Y CIENCIA APLICADA



Participación en INNOVATEC



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

GUILLERMO ROJAS SOLIS

**POR SU DESTACADA PARTICIPACIÓN PRESENTANDO EL
PROYECTO Di-LSM, DE LA CATEGORÍA BIENES DE CONSUMO
EN EL CERTAMEN DE PROYECTOS, DE LA CUMBRE NACIONAL
DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, EMPRENDIMIENTO E
INNOVACIÓN, INNOVATEC 2025 ETAPA LOCAL**

Cuernavaca, Morelos, 29 de mayo de 2025

LORENZO O. HERNÁNDEZ

DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

**Innova
Techni
2025**



Participación Semana de Ingenierías TECNM Campus Tlalpan



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TLALPAN

OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

A

GUILLERMO ROJAS SOLÍS

POR SU PARTICIPACIÓN EN LA SEMANA DE INGENIERÍAS, CON EL CURSO-
TALLER NOMBRADO "CIENCIA DE DATOS CON R Y ORANGE".

CELEBRADO EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TLALPAN, DEL
14 AL 17 DE OCTUBRE DEL 2025.


MARGARITA RAMÍREZ BRAVO
DIRECCIÓN
DIRECTORA



CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2025



Participación en congreso Academia Journals. Artículo “Desafíos en la Lengua de Señas Mexicana: Modelos de Lenguaje Extendido (LLMs) como Intérprete entre una Persona Oyente y una Sorda”



CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE ACADEMIA JOURNALS CDMX 2025

Soluciones Inteligentes para el Progreso Tecnológico y Agroindustrial

CERTIFICADO

otorgado a

Ing. Guillermo Rojas Solís
Dr. Maximo Maximo López Sánchez

por su artículo titulado

Desafíos en la Lengua de Señas Mexicana: Modelos de Lenguaje Extendido (LLMs) como Intérprete entre una Persona Oyente y una Sorda

(Artículo No. ZTP166)

La ponencia correspondiente fue presentada en el 5º Congreso Internacional de Investigación Academia Journals CDMX desarrollado los días 02 y 03 de octubre de 2025, co-organizado por el Instituto Tecnológico de Iztapalapa y el Centro de Investigación Productos y Servicios Estratégicos para Investigación y Posgrado PYSEIP. El artículo está incluido en las siguientes publicaciones: (1) en el portal de Internet AcademiaJournals.com, con ISSN 1946-5351 online, Vol. 17, No. 06, 2025 e indexación en la base de datos *Fuente Académica Plus de EBSCOHOST*, Massachusetts, Estados Unidos y (2) en libros ebook digitales compilados por área temática, con números ISBN online*. Se tiene acceso libre a todas las publicaciones del congreso en el portal de internet de Academia Journals.

Los organizadores del congreso reconocen la participación de los autores en el congreso, agradeciendo sus contribuciones.



DR. RAFAEL MORAS, P.E.
Director General
Academia Journals



CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ACADEMIA JOURNALS CDMX 2025

* Soluciones Inteligentes para el Progreso – Ciencias Administrativas AICDMX 2025 979-8-89020-144-7
Soluciones Inteligentes para el Progreso - Ciencias de la Salud AICDMX 2025 979-8-89020-145-4
Soluciones Inteligentes para el Progreso – Matemáticas y Ciencias Naturales AICDMX 2025 979-8-89020-146-1
Soluciones Inteligentes para el Progreso – Ciencias de la Educación AICDMX 2025 979-8-89020-147-8
Soluciones Inteligentes para el Progreso – Humanidades y Ciencias Sociales AICDMX 2025 979-8-89020-148-5
Soluciones Inteligentes para el Progreso – Ingeniería AICDMX 2025 979-8-89020-149-2

<https://www.academiajournals.com/cdmx>

Curso Lengua de Señas Mexicana nivel básico, DIF Morelos



DIF
Morelos

RECONOCIMIENTO

A: *Guillermo Rojas Solís*

Por concluir el curso de Lengua de Señas Mexicana nivel básico

26 de marzo de 2024.

Natália Rezende Moreira
Presidenta del Sistema
DIF Morelos

Curso Lengua de Señas Mexicana nivel básico 1, DIF CDMX



CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

DIF

EL SISTEMA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE LA FAMILIA
DE LA CIUDAD DE MÉXICO, A TRAVÉS DE LA
ACADEMIA DE LENGUA DE SEÑAS MEXICANA

Otorga la presente

CONSTANCIA

a
Guillermo Rojas Solís

Por haber acreditado el curso Básico 1 de Lengua de Señas Mexicana que se llevó a cabo del 4 de agosto al 13 de diciembre de 2025.

Mtra. Claudia Elena Águila Torres
Directora Ejecutiva de los Derechos de las Personas con Discapacidad
y Desarrollo Comunitario

Ciudad de México, 29 de diciembre de 2025

