

TRADUSEÑAS: SISTEMA DE TRADUCCIÓN DE LENGUAJE DE SEÑAS MEXICANO A TEXTO

TRADUSEÑAS: MEXICAN SIGN LANGUAGE TRANSLATION SYSTEM TO TEXT

Recibido: 29 de octubre de 2025
Aceptado: 31 de diciembre de 2025

Nestor Moises Castillo Bautista
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles:
Ciudad Valles, San Luis Potosí, MX
<https://orcid.org/0009-0002-3825-0163>
22690495@tecvalles.mx

Julián García Villedas
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles:
Ciudad Valles, San Luis Potosí, MX
<https://orcid.org/0009-0003-4187-0336>

Luis Ángel Posadas del Toro
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles:
Ciudad Valles, San Luis Potosí, MX
<https://orcid.org/0009-0000-1662-5556>

Jaime Jesús Delgado Meraz
Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Valles:
Ciudad Valles, San Luis Potosí, MX
<https://orcid.org/0009-0000-5235-5776>

RESUMEN

En México, cerca de 2.3 millones de personas viven con algún tipo de discapacidad auditiva, y su principal medio de expresión es la Lengua de Señas Mexicana (LSM). Sin embargo, comunicarse con personas oyentes sigue siendo un obstáculo cotidiano, sobre todo por la escasez de intérpretes certificados. Ante esta realidad, el presente trabajo propone TRADUSEÑAS, un prototipo portátil que captura movimientos de los dedos mediante cinco sensores flexibles integrados en un guante, los procesa con un microcontrolador Arduino Uno y los clasifica en Python con técnicas de aprendizaje automático. Las pruebas realizadas con 30 señas del alfabeto manual de la LSM arrojaron una precisión superior al 85% y una latencia de respuesta de entre 1 y 2 segundos. La evaluación con 10 usuarios —cinco con discapacidad auditiva y cinco oyentes— reportó un 80% de satisfacción general. Los resultados validan TRADUSEÑAS como una alternativa accesible y de bajo costo para reducir barreras comunicativas y favorecer la inclusión social.

Palabras clave: Lenguaje de señas mexicano, tecnologías de asistencia, sensores flexibles, inclusión social, aprendizaje automático

Abstract

In Mexico, approximately 2.3 million people live with some degree of hearing disability, and their primary means of communication is Mexican Sign Language (MSL). Nevertheless, day-to-day interaction with hearing people remains a persistent challenge, mainly due to the shortage of certified interpreters. To address this gap, this paper introduces TRADUSEÑAS, a wearable prototype that captures finger movements through five flexible sensors embedded in a glove, processes the signals with an Arduino Uno microcontroller, and classifies them in Python using machine-learning algorithms. Tests covering 30 signs from the MSL manual alphabet yielded accuracy above 85% and a response latency of 1–2 seconds. A usability evaluation with 10 participants —five deaf and five hearing— reported 80% overall satisfaction. The results support TRADUSEÑAS as an affordable, accessible alternative for reducing communication barriers and fostering social inclusion.

Key words: Mexican sign language, assistive technologies, flexible sensors, social inclusion

INTRODUCCIÓN

La discapacidad auditiva representa uno de los principales desafíos de inclusión social en México. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), aproximadamente 2.3 millones de personas en México presentan algún tipo de discapacidad auditiva, constituyendo el 15% de la población total con discapacidad en el país. Esta población enfrenta barreras comunicativas significativas en su vida cotidiana, limitando su acceso a servicios educativos, laborales y sociales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020).

La Lengua de Señas Mexicana (LSM) fue reconocida oficialmente como lengua nacional en 2005, a través de la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (Secretaría de Educación Pública, 2023). A pesar de este reconocimiento, la escasez de intérpretes certificados y el desconocimiento generalizado de la LSM entre la población oyente generan una brecha comunicativa persistente que contribuye a la exclusión social. En un entorno cada vez más digitalizado, resulta necesario explorar soluciones tecnológicas concretas que faciliten el intercambio de información entre la comunidad sorda y oyente (Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, 2011).

En ese contexto, distintos equipos de investigación han diseñado sistemas de traducción automática de lenguaje de señas apoyados en tecnologías de asistencia. Un caso representativo es el desarrollado por bioingenieros de la UCLA, donde un guante con sensores tradujo el lenguaje de señas americano (ASL) a voz en tiempo real valiéndose de un teléfono inteligente. Trabajos posteriores han confirmado que combinar sensores con microprocesadores y algoritmos de aprendizaje automático es una vía factible y económica para reconocer señas (Ciencia, 2020).

Dentro de los componentes clave para este tipo de sistemas destacan los sensores flexibles, cuyo principio de operación —variación de resistencia eléctrica proporcional al ángulo de flexión— permite cuantificar con precisión la posición de cada dedo. Mohandes et al. analizaron el estado del arte entre 2007 y 2017, y concluyeron que los guantes sensoriales constituyen la plataforma más robusta para capturar la forma y el movimiento de la mano durante la ejecución de señas. La disponibilidad de plataformas de desarrollo como Arduino ha facilitado la construcción de prototipos funcionales en ambientes académicos sin incurrir en costos elevados (Mohandes, Aliyu, & Deriche, 2018).

El objetivo general del presente estudio es desarrollar y evaluar un sistema de traducción automática de LSM a texto mediante un dispositivo portátil basado en sensores flexibles. Los objetivos específicos son:

- Diseñar e implementar un prototipo funcional integrando sensores flexibles, el microcontrolador Arduino Uno y algoritmos de clasificación en Python.
- Evaluar la precisión del sistema en el reconocimiento de un vocabulario de 30 señas de la LSM.
- Determinar el nivel de aceptabilidad y usabilidad del sistema entre usuarios de la comunidad sorda y oyente.

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de contar con tecnologías de asistencia accesibles que impulsen la inclusión de personas con discapacidad auditiva. Dado que muchos dispositivos comerciales son costosos o difíciles de adquirir en contextos locales, TRADUSEÑAS propone una alternativa funcional y económica apta para escuelas, centros de

trabajo y comunidades vulnerables.

Desde la perspectiva formativa, el proyecto permite a estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales integrar conocimientos de programación embebida, manejo de sensores, diseño de hardware y algoritmos de reconocimiento de patrones, áreas centrales en el perfil del ingeniero en computación y electrónica, tal como señala Heath (Heath, 2003). El alcance del prototipo se limita a 30 señas estáticas y dinámicas de la LSM, excluyendo expresiones faciales y movimientos complejos, y las pruebas se realizaron en entorno controlado, por lo que se requiere validación adicional en escenarios reales.

METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto TRADUSEÑAS se estructuró en cinco etapas sucesivas: diseño y planteamiento del sistema, desarrollo del hardware, desarrollo del software y algoritmos, recolección de datos y entrenamiento, y evaluación con usuarios finales.

Etapa 1. Diseño Y Planteamiento Del Sistema:

Diseño De La Investigación

El presente estudio utilizó un enfoque cuantitativo con diseño experimental de tipo aplicado. La investigación se desarrolló en tres fases principales:

1. Diseño y construcción del prototipo hardware-software,
2. Entrenamiento y validación del modelo de reconocimiento,
3. Evaluación de usabilidad y precisión con usuarios finales.

El estudio se realizó en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México campus Valles durante el periodo de agosto 2024 a enero 2025.

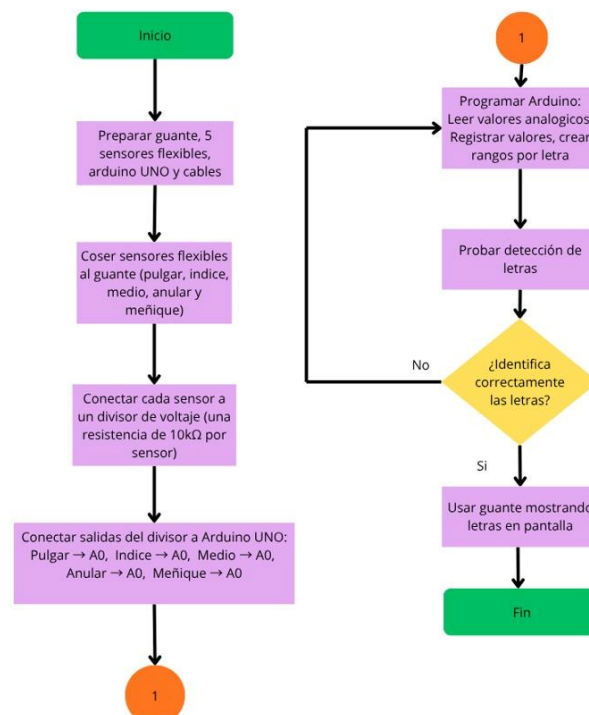


Figura 1: Diagrama de flujo de creación del guante traductor TRADUSEÑAS.

Nota: Pasos propios seguidos para la elaboración de guante TRADUSEÑAS. (Diseño propio)

Etapa 2. Desarrollo Del Hardware:

Hardware Del Sistema

El dispositivo TRADUSEÑAS integra cinco sensores de flexión de 2.2 pulgadas (U-Electronics, s. f.) colocados estratégicamente en cada dedo del guante. Cada sensor opera mediante variación de resistencia proporcional al ángulo de flexión, con rango operativo de 0° a 90° y resistencia variable entre 60 k Ω y 110 k Ω . Se calibraron individualmente para cada usuario mediante mapeo de valores analógicos (0–1023) a ángulos de flexión específicos.

Como base estructural se utilizó un guante textil de poliéster blanco, talla M. Los sensores se fijaron en la superficie dorsal de cada dedo con adhesivo textil flexible y costuras de refuerzo, y el cableado se dirigió hacia la protoboard y posteriormente al Arduino Uno. Cada sensor se conectó en configuración de divisor de tensión con una resistencia fija de 10 k Ω alimentada a 5 V. La comunicación con la computadora se estableció vía USB serial a 9600 baudios.

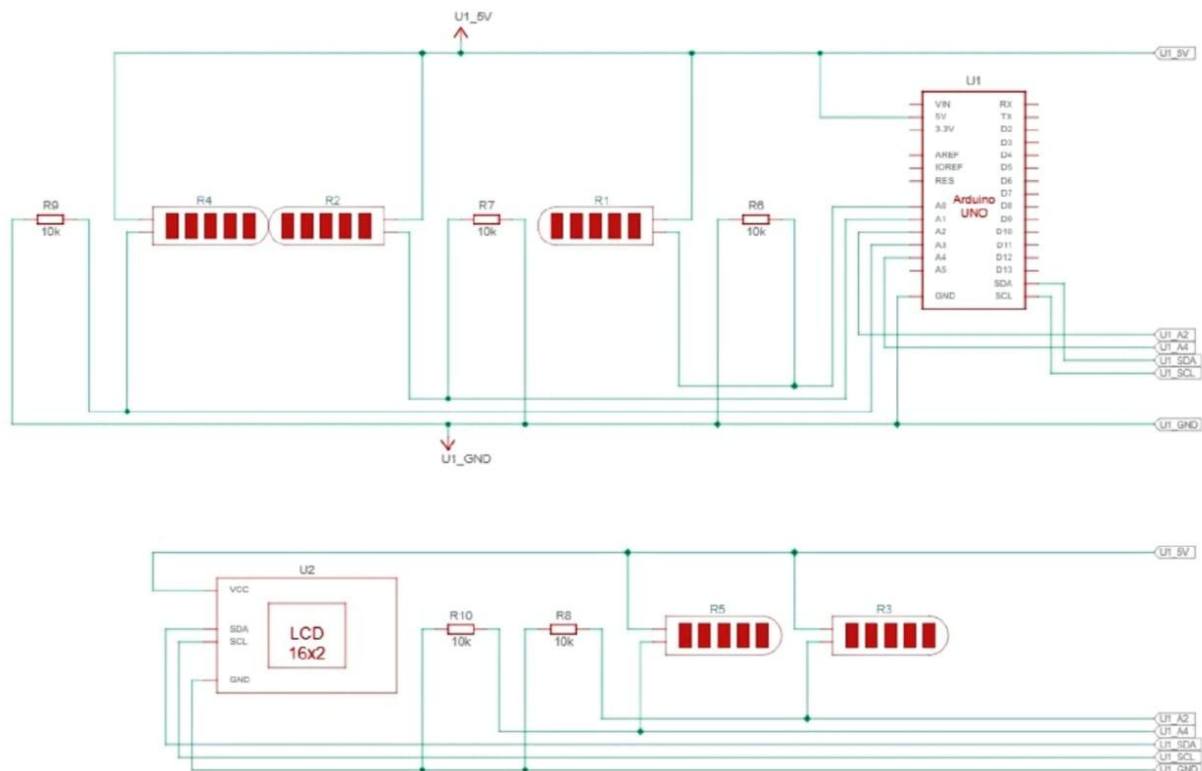


Figura 2: Diagrama del sistema TRADUSEÑAS con sensores flexibles y microcontrolador Arduino Uno.

Nota: Elaboración propia basada en el diseño del prototipo TRADUSEÑAS.

Etapa 3. Desarrollo del Software y Algoritmos:

Microcontrolador.

Se utilizó una placa *Arduino Uno* (Arduino AG, 2023) equipada con microcontrolador ATmega328P operando a 16 MHz. La placa proporciona entradas analógicas utilizadas para la lectura simultánea de los cinco sensores flexibles (U-Electronics, s. f.). La comunicación con el ordenador se estableció mediante conexión serial USB a 9600 baudios.

Circuito de acondicionamiento de señal.

Cada sensor flexible (U-Electronics, s. f.) fue conectado en configuración de divisor de tensión con una resistencia fija de 10k Ω , alimentado con 5V del *Arduino*. El circuito completo fue integrado en una *protoboard* y conectado a los sensores integrados en el guante.

Estructura del guante.

Como base se utilizó un guante textil de poliéster blanco talla M. Los sensores flexibles (U-Electronics, s. f.) fueron fijados en la superficie dorsal de cada dedo mediante adhesivo textil flexible y costuras de refuerzo. El cableado fue conducido a la *protoboard* y posteriormente al *Arduino Uno* (Arduino AG, 2023) y el sistema de alimentación.



Figura 3:Propuesta de diseño de guante traductor TRADUSEÑAS.

Nota: Propuesta de diseño generado para el guante TRADUSEÑAS (OpenAI, 2025).

Software Y Algoritmos De Reconocimiento

El sistema software se desarrolló en dos componentes principales:

Firmware Arduino.

El código embebido en el *Arduino Uno* (Arduino AG, 2023) realiza la adquisición de datos de los cinco sensores a una frecuencia de muestreo de 50 Hz. Los valores analógicos son procesados mediante filtro de media móvil con ventana de 5 muestras para reducir fluctuaciones.

Aplicación Python.

Se desarrolló una aplicación en *Python 3.9* utilizando las bibliotecas *pySerial* para comunicación serial, *NumPy* y *Pandas* para procesamiento de datos, y *scikit-learn* para implementación de algoritmos de aprendizaje automático. La interfaz gráfica se implementó mediante *Tkinter*, mostrando en tiempo real los valores de los sensores, la seña detectada y el texto traducido (Python Software Foundation, 2020).

Etapas 4. Recolección De Datos, Entrenamiento Y Validación:

Recolección Y Procesamiento De Datos

Para el entrenamiento del modelo se recolectó un conjunto de datos distribuidos uniformemente entre las 30 señas objetivo (150 muestras por seña). Las señas incluyen: 27 letras del alfabeto manual de la LSM.

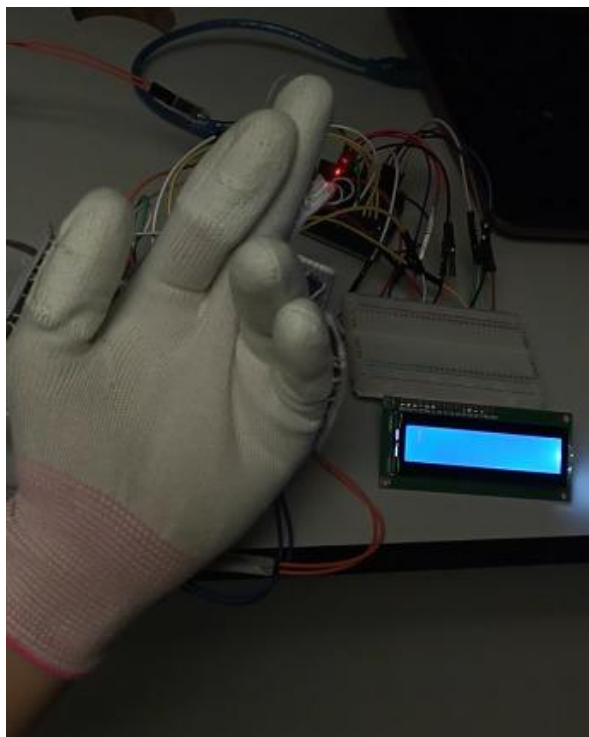


Figura 4: Modelo de fase de pruebas del guante TRADUSEÑAS

El proceso de captura requirió que dos usuarios de referencia (dos estudiantes familiarizados con LSM) realizaran cada seña 50 veces con duraciones de 1-2 segundos. Los datos fueron capturados en sesiones de 30 minutos con descansos intermedios para minimizar fatiga. Se implementó un protocolo de normalización considerando diferentes tamaños de mano mediante escalado min-max de los valores de los sensores (Secretaría de Educación Pública, 2023).

El conjunto de datos fue dividido en 70% para entrenamiento, 15% para validación y 15% para prueba.

Etapas 5. Evaluación Con Usuarios Finales:

Se reclutaron 10 participantes voluntarios mediante convocatoria en instituciones educativas locales: cinco personas con discapacidad auditiva usuarios de LSM (edad promedio 26.4 años; rango 19–42) y cinco oyentes sin conocimiento previo de LSM (edad promedio 24.8 años; rango 21–35). Los criterios de inclusión fueron: edad entre 18 y 50 años, capacidad de realizar movimientos manuales sin restricciones y firma de consentimiento informado.

Cada participante completó tres tareas experimentales:

- Prueba de reconocimiento: ejecutar 10 señas aleatorias del vocabulario (3 repeticiones

por seña) y verificar la precisión del sistema.

- Medición de latencia: ejecutar cadenas de 5 señas sin pausas intermedias y cronometrar el intervalo desde la captura hasta la traducción.
- Prueba en contexto natural: participar en una interacción conversacional de cinco minutos valiéndose únicamente de las señas reconocidas por el sistema.

Las métricas principales fueron: precisión de reconocimiento, tiempo de respuesta promedio y tasa de falsos positivos. Adicionalmente, se realizaron entrevistas semiestructuradas de 15 minutos sobre comodidad del guante, facilidad de uso, aplicabilidad cotidiana y sugerencias de mejora.

Consideraciones Éticas

Todos los participantes recibieron información clara sobre los objetivos del estudio y firmaron consentimiento informado de manera libre y voluntaria. Los datos personales se anonimizaron mediante códigos identificadores y cualquier participante podía retirarse en cualquier momento sin consecuencias. Asimismo, se aseguró que cada participante pudiera retirarse del estudio en cualquier momento sin repercusiones.

RESULTADOS Y DISCUSION

El sistema TRADUSEÑAS logró una precisión de reconocimiento superior al 85% en un vocabulario de 27 señas fundamentales de la Lengua de Señas Mexicana (Secretaría de Educación Pública, 2023).

El tiempo promedio de respuesta del sistema fue de 1-2 segundos entre la ejecución de la seña y su visualización en texto.

Durante las pruebas con 10 participantes (personas sordas y oyentes), se obtuvo un 80% de satisfacción general, destacando su alta aceptabilidad en contextos educativos, laborales y sociales.

Los rangos de flexión obtenidos para cada dedo (**Tabla 1**) muestran una distribución diferenciada según la configuración manual de cada letra, lo que permitió al modelo de reconocimiento lograr una precisión superior al 85%. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Mohandes et al. (Mohandes, Aliyu, & Deriche, 2018), quienes destacaron la eficacia de los guantes sensorizados para la detección de configuraciones estáticas de señas. Las variaciones en los valores analógicos se atribuyen a diferencias anatómicas entre usuarios y a la sensibilidad individual de cada sensor, factores que pueden ser compensados mediante calibración automática o normalización dinámica en futuras versiones del sistema.

Tabla 1: Rangos de valores analógicos de flexión por dedo para cada letra de la Lengua de Señas Mexicana.

Letra	Rango Pulgar	Rango Índice	Rango Medio	Rango Anular	Rango Meñique
A	870-925	165-240	225-290	275-335	320-375
B	280-345	880-940	860-920	845-905	865-915
C	550-615	560-630	570-640	560-600	565-635
D	175-235	855-915	165-235	185-245	195-260
E	810-870	760-825	745-810	755-820	765-825
F	365-435	275-340	290-350	780-840	790-850
G	155-220	160-210	150-215	465-530	475-640

H	260-330	270-340	880-940	865-925	275-335
I	260-320	255-325	265-330	275-340	870-940
J	270-340	265-335	280-345	275-345	865-935
K	180-240	870-935	860-930	185-250	190-260
L	165-230	885-950	270-340	260-325	255-320
M	875-945	860-930	880-940	865-920	265-335
N	860-925	870-940	855-915	275-340	280-345
O	655-730	640-710	670-740	660-735	650-725
P	275-340	880-900	870-910	760-820	270-330
Q	170-200	160-210	150-225	665-720	175-245
R	265-330	875-940	880-935	265-330	275-335
S	860-925	865-920	855-900	870-920	875-925
T	875-940	290-350	275-340	280-350	270-335
U	285-350	870-900	875-920	295-320	300-350
V	290-360	865-930	870-920	290-325	295-365
W	310-350	870-910	885-920	875-900	295-350
X	675-740	285-350	295-360	300-340	310-360
Y	185-250	295-360	285-345	300-350	870-910
Z	285-350	275-340	290-350	300-340	295-360

Nota: Datos obtenidos durante la fase de calibración de sensores flexibles.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSION Y CONCLUSION

Los resultados demuestran que TRADUSEÑAS es una solución tecnológica funcional para facilitar la comunicación entre personas sordas y oyentes. Alcanzar más del 85% de precisión con sensores de bajo costo y hardware accesible confirma que este tipo de plataformas tiene cabida real en entornos académicos y comunitarios. Desde el punto de vista técnico, la calibración individual de cada sensor resultó decisiva para obtener resultados consistentes entre usuarios con distintas características anatómicas, tal como lo anticipan Mohandes et al. (2018) y Jun et al. (2020) en sus revisiones de sistemas sensoriales para traducción de señas.

En términos sociales, el prototipo contribuye concretamente a reducir la brecha comunicativa en escuelas y espacios laborales, alineándose con los compromisos de inclusión establecidos en la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, 2011). La aceptación del 80% entre usuarios finales sugiere que el dispositivo es percibido como útil y manejable, aunque quedan pendientes ajustes de ergonomía y autonomía de uso.

Como líneas de trabajo futuro se propone: (1) incorporar reconocimiento de expresiones faciales para una traducción más completa; (2) integrar síntesis de voz para obtener salida multimodal (texto y audio); (3) ampliar el vocabulario más allá del alfabeto manual; y (4) habilitar conectividad inalámbrica con dispositivos móviles. Estas mejoras potenciarían la aplicabilidad del sistema en escenarios cotidianos fuera de entornos controlados.

En síntesis, TRADUSEÑAS representa un paso concreto hacia el desarrollo de tecnologías de

asistencia nacionales, accesibles y funcionales, que promueven la inclusión social a través de la innovación tecnológica. Su viabilidad técnica queda demostrada; la siguiente etapa consistirá en validar su efectividad en condiciones reales de uso con una muestra de mayor tamaño.

REFERENCIAS

- Arduino AG. (2023). *Arduino Uno Rev3 Datasheet (A000066)*. Somerville, MA: Arduino AG.
- Ciencia, E. P. (29 de 06 de 2020). *Cienciaplus*. Obtenido de Cienciaplus: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-desarrollan-guante-traduce-lenguaje-signos-habla-tiempo-real-20200629174742.html#:~:text=Los%20investigadores%20tambi%C3%A9n%20agregaron%20sensores%20adhesivos%20a,forman%20parte%20del%20lenguaje%20de%20se>
- Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. (2011). *DOF: Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad*. Ciudad de México. Obtenido de Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>
- Heath, S. (2003). *Embedded Systems Design*. Oxford: Newnes.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020: Personas con discapacidad*. INEGI: México.
- Jun, C., Zhang, J., Pu, X., Ren, Z., Huang, R., Guo, C., . . . Wang, Z. L. (2020). Wearable high-pressure sensor based on triboelectric nanogenerator for quantitative detection of fingerprint and physiological signals. *Nature Communications*.
- Mohandes, M., Aliyu, S., & Deriche, M. (2018). A review on systems-based sensory gloves for sign language recognition state of the art between 2007 and 2017. *Sensors*, 2208.
- OpenAI. (22 de Septiembre de 2025). *ChatGPT (modelo de lenguaje IA)*. Obtenido de OpenAI: <https://chat.openai.com>
- Python Software Foundation. (05 de 10 de 2020). *Python (versión 3.9)*. Obtenido de Python (versión 3.9): <https://www.python.org>
- Secretaría de Educación Pública. (2023). *Diccionario de Lengua de Señas Mexicana*. México, DF: Secretaría de Educación Pública.
- U-Electronics. (s. f.). *Flex Sensor 2.2" (o Flex Sensor 2.2-inch)*. U-Electronics.