



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TRADUCCIÓN DE LENGUAJE DE SEÑAS DACTILOLÓGICO A
LENGUAJE NATURAL ESCRITO PARA PERSONAS NO
HABLANTES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

MEDELIN LISSET CUSME QUINTANILLA

Riobamba - Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
TRADUCCIÓN DE LENGUAJE DE SEÑAS DACTILOLÓGICO A
LENGUAJE NATURAL ESCRITO PARA PERSONAS NO
HABLANTES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORA: MEDELIN LISSET CUSME QUINTANILLA

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ. Ph.D.

Riobamba - Ecuador

2024

© 2024, **Medelin Lisset Cusme Quintanilla**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Medelin Lisset Cusme Quintanilla, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

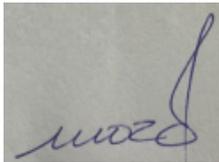
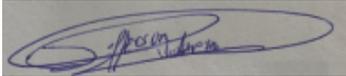
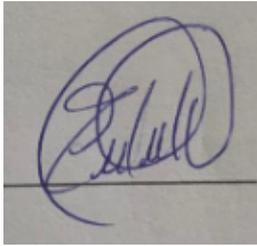
Riobamba, 15 de abril de 2024



Medelin Lisset Cusme Quintanilla
0803756915

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRADUCCIÓN DE LENGUAJE DE SEÑAS DACTILOLÓGICO A LENGUAJE NATURAL ESCRITO PARA PERSONAS NO HABLANTES MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL**, realizado por la señorita: **MEDELIN LISSET CUSME QUINTANILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2024-04-15
Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2024-04-15
Ing. Lourdes del Carmen Zuñiga Lema ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2024-04-15

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres, Prospero Cusme Vélez, Nieves Quintanilla Prado y hermanos en reconocimiento a su respaldo constante, compañía inquebrantable y afecto sin condiciones. Ellos han representado el pilar moral fundamental en mi crecimiento personal y profesional. Su ejemplar lucha, perseverancia, responsabilidad, honestidad y sacrificio han sido fundamentales para moldear los cimientos de mi educación, así como para cultivar mi voluntad de superación y compromiso de servicio.

Medelin

AGRADECIMIENTO

Dios, fundamento de mi fuerza y fuente de sabiduría, especialmente en momentos de incertidumbre y vulnerabilidad, te manifiesto mi profundo agradecimiento por las bendiciones recibidas. Agradezco por brindarme la oportunidad de completar otra fase en mi crecimiento profesional y de experimentar una vida llena de lecciones, vivencias y, sobre todo, felicidad. Por último, expreso mi gratitud hacia todas aquellas personas que, de alguna manera, contribuyeron al desarrollo y conclusión de esta investigación, dejando su huella en mi formación académica y personal.

Medelin

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	1
CAPÍTULO I	
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3 Justificación	3
1.3.1 <i>Justificación Teórica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación Aplicativa</i>	4
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 Dactilología	6
2.1.1 <i>Mano dominante y mano base</i>	6
2.2 Lenguaje de señas ecuatoriano (LSEC)	6
2.3 Inteligencia artificial (IA)	7

2.4	La neurona	8
2.5	La neurona artificial	8
2.6	Arquitecturas neuronales	8
2.6.1	<i>Según el número de capas</i>	8
2.6.1.1	<i>Redes neuronales monocapas</i>	8
2.6.1.2	<i>Redes neuronales multicapa</i>	9
2.6.2	<i>Según el tipo de conexiones</i>	9
2.6.2.1	<i>Redes neuronales no recurrentes</i>	9
2.6.2.2	<i>Redes neuronales recurrentes</i>	9
2.6.3	<i>Según el grado de conexión</i>	10
2.6.3.1	<i>Redes neuronales totalmente conectadas</i>	10
2.6.3.2	<i>Redes parcialmente conectadas</i>	10
2.7	Redes convolucionales	10
2.8	Funciones de activación	11
2.8.1	<i>Función de salto binaria</i>	11
2.8.2	<i>Función sigmoide</i>	11
2.8.3	<i>Tangente hiperbólica (Tanh)</i>	12
2.9	Visión artificial	12
2.9.1	<i>Etapas en un proceso de visión artificial</i>	12
2.10	Matriz de confusión	14
2.11	Métricas de una matriz de confusión	14
2.12	Técnicas básicas de procesamiento	16
2.12.1	<i>Técnicas de procesamiento basada en puntos de la imagen</i>	16
2.12.1.1	<i>Histograma de una imagen</i>	16
2.12.1.2	<i>Realce de imágenes por modificación del contraste</i>	17
2.12.1.3	<i>Realce de imágenes por ecualización del histograma</i>	18
2.12.1.4	<i>Perfil en una imagen</i>	19
2.12.1.5	<i>Técnicas de colores falsos y pseudocolor</i>	19
2.12.2	<i>Procesamiento basado en una región de la imagen</i>	20
2.12.2.1	<i>Convolución</i>	20

2.12.2.2	<i>Filtraje no-lineal de la imagen</i>	21
2.12.2.3	<i>Detección de contornos</i>	22
2.12.2.4	<i>Segmentación de imágenes</i>	23
2.13	Mediapipe hand	24
2.14	Luxómetro	24
2.15	Iluminación en la visión artificial	24
2.16	Elementos de un sistema de visión	25
2.16.1	<i>Iluminación frontal</i>	27
2.16.2	<i>Iluminación lateral</i>	27
2.16.3	<i>Iluminación por campo oscuro (Dark field)</i>	28
2.16.4	<i>Iluminación por contraste (Backlight)</i>	29
2.16.5	<i>Iluminación axial difusa</i>	29
2.16.6	<i>Iluminación difusa tipo domo</i>	30
2.16.7	<i>Iluminación por láser</i>	31
2.17	Niveles de iluminación	31

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1	Tipo de estudio	33
3.2	Métodos de investigación	33
3.2.1	<i>Estudio de casos</i>	33
3.2.2	<i>Cualitativo</i>	33
3.2.3	<i>Cuantitativo</i>	34
3.3	Técnicas	34
3.4	Fuentes de información	34
3.5	Población y muestra	34
3.5.1	<i>Población</i>	34
3.5.2	<i>Muestra</i>	35
3.6	Procesamiento y análisis	35
3.6.1	<i>Fase de entrenamiento</i>	35
3.6.2	<i>Fase de ejecución</i>	36

3.6.3	<i>Obtención de la información</i>	37
3.6.3.1	<i>Modelo de detección de palma</i>	38
3.6.3.2	Modelo de referencia de la mano	38
3.7	Entrenamiento de una red neuronal	39
3.8	Función de activación RELU	39
3.9	Función de activación SOFTMAX	40
3.10	Arquitectura de la red neuronal propuesta	41
3.11	Arquitectura ResNet	42
3.11.1	<i>Ventajas de ResNet</i>	42
3.12	Algoritmo de aprendizaje Backpropagation	43
3.13	Aplicación Lux Light Meter Pro	43
3.14	Jupyter notebook	44
 CAPÍTULO IV		
4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
4.1	Resultados	45
4.1.1	<i>Análisis de los resultados obtenidos en la matriz de confusión</i>	45
4.1.2	<i>Análisis de los resultados obtenidos en la aplicación Lux Light Meter Pro</i>	48
4.2	Análisis de las encuestas	50
4.2.1	<i>Interpretación de los resultados</i>	50
4.3	Interfaz del Sistema Traductor propuesto	61
4.4	Pruebas de funcionamiento	62
 CAPÍTULO V		
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
 BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Estudiantes matriculados por nivel	35
Tabla 3-2:	Etiquetas de cada letra	39
Tabla 4-1:	¿En qué rango de edad te encuentras?	51
Tabla 4-2:	¿Cuál es tu nivel de dominio de la lengua de señas ecuatoriana?	52
Tabla 4-3:	¿En qué situaciones te has encontrado con dificultades de comunicación debido a tu discapacidad auditiva?	53
Tabla 4-4:	¿Cómo te ha impactado la falta de herramientas de traducción de lengua de señas en tu vida personal, educativa o laboral?	54
Tabla 4-5:	¿Qué características crees que debería tener un sistema traductor de lengua de señas ideal?	55
Tabla 4-6:	¿Qué tipo de interfaz te gustaría que tuviera el sistema?	56
Tabla 4-7:	¿Cómo crees que un sistema traductor de lengua de señas impactaría tu vida?	57
Tabla 4-8:	¿Estarías interesado en recibir un sistema traductor de lengua de señas gratuito?	58
Tabla 4-9:	¿En qué medida te beneficiaría recibir un sistema traductor de lengua de señas? (Escala de 1 a 5, donde 1 es Muy poco y 5 es Mucho	59
Tabla 4-10:	¿Cómo calificarías el Sistema Traductor en términos de rendimiento?	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Diagrama de la propuesta	5
Ilustración 2-1:	Alfabeto dactilográfico	7
Ilustración 2-2:	Representación de una neurona	8
Ilustración 2-3:	Esquema de una neuronal monocapa	9
Ilustración 2-4:	Esquema de una red neuronal multicapa	9
Ilustración 2-5:	Esquema de una red recurrente	10
Ilustración 2-6:	Red neuronal convolucional	10
Ilustración 2-7:	Función salto binario	11
Ilustración 2-8:	Función sigmoide	11
Ilustración 2-9:	Función tangente hiperbólica	12
Ilustración 2-10:	Diagrama de bloques de las etapas de un sistema de visión artificial . . .	13
Ilustración 2-11:	Matriz de confusión	14
Ilustración 2-12:	Histograma para los niveles de intensidad de una imagen, con $L=64$. .	17
Ilustración 2-13:	Ejemplo de la modificación de la escala de grises. a) Imagen de 4 x 4 píxeles, con cada píxel representado por 3 bits; b) Función de transformación de los niveles de gris; c) Resultado de modificar la imagen en a), usando la transformación de niveles de gris especificada en b)	17
Ilustración 2-14:	Principio de la ecualización del histograma. La imagen se procesa mediante una transformación no lineal de manera que el histograma de la imagen de salida, sea lo más aproximado posible a $h(g)$	18
Ilustración 2-15:	Ejemplo de la ecualización del histograma a) Imagen original con su correspondiente histograma, b) Imagen resultante y su histograma ecualizada	19
Ilustración 2-16:	Proceso de convolución con una máscara. Cada píxel en la imagen de salida es el resultado de la suma de los productos entre los píxeles de la máscara y los píxeles incluidos en la vecindad correspondiente en la imagen de entrada	20
Ilustración 2-17:	Ejemplo de un algoritmo de suavizamiento utilizando el filtro promediador	21
Ilustración 2-18:	Procedimiento para implantar el filtro de mediana	22
Ilustración 2-19:	Sistema utilizado para la detección de contornos	23
Ilustración 2-20:	Puntos de referencia de la mano	24
Ilustración 2-21:	Niveles de luminancia y disposición de atenuadores	25
Ilustración 2-22:	Halógenas	25
Ilustración 2-23:	Incandescencia	26
Ilustración 2-24:	Fluorescentes	26
Ilustración 2-25:	Láser	26

Ilustración 2-26: Xenón.	26
Ilustración 2-27: Iluminación frontal	27
Ilustración 2-28: Iluminación lateral	28
Ilustración 2-29: Iluminación por campo oscuro	28
Ilustración 2-30: Iluminación por contraste	29
Ilustración 2-31: Iluminación axial difusa	30
Ilustración 2-32: Iluminación difusa tipo domo	30
Ilustración 2-33: Iluminación por láser	31
Ilustración 3-1: Proceso de entrenamiento	36
Ilustración 3-2: Proceso del Sistema Traductor	37
Ilustración 3-3: Mediapipe Hands	37
Ilustración 3-4: Modelo de detección de palma	38
Ilustración 3-5: Función RELU	40
Ilustración 3-6: Función SOFTMAX	40
Ilustración 3-7: Arquitectura de la red neuronal propuesta	41
Ilustración 3-8: Arquitectura ResNet	42
Ilustración 3-9: Lux Light meter Pro	44
Ilustración 4-1: Matriz de confusión del Sistema Traductor	46
Ilustración 4-2: Reporte general del Sistema Traductor	48
Ilustración 4-3: Intensidad de la luz en luxes	49
Ilustración 4-4: Representación porcentual de la pregunta 1	51
Ilustración 4-5: Representación porcentual de la pregunta 2	52
Ilustración 4-6: Representación porcentual de la pregunta 3	53
Ilustración 4-7: Representación porcentual de la pregunta 4.	54
Ilustración 4-8: Representación porcentual de la pregunta 5	55
Ilustración 4-9: Representación porcentual de la pregunta 6	56
Ilustración 4-10: Representación porcentual de la pregunta 7	57
Ilustración 4-11: Representación porcentual de la pregunta 8	58
Ilustración 4-12: Representación porcentual de la pregunta 9	59
Ilustración 4-13: Representación porcentual de la pregunta 10	60
Ilustración 4-14: Menú principal	61
Ilustración 4-15: Opción entrenador	61
Ilustración 4-16: Opción traductor	62
Ilustración 4-17: Estudiantes y docente de la institución	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Fórmula para calcular la exactitud	15
Ecuación 2-2: Fórmula para calcular la precisión	15
Ecuación 2-3: Fórmula para calcular la sensibilidad	15
Ecuación 2-4: Fórmula para calcular el F1-Score	15

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SISTEMA TRADUCTOR IMPLEMENTADO (INTERFAZ GRÁFICA)
- ANEXO B:** ENCUESTA
- ANEXO C:** PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO
- ANEXO D:** OFICIO EMITIDO POR DIRECCIÓN DE CARRERA SOLICITANDO ACCESO A LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO
- ANEXO E:** AUTORIZACIÓN DE ACCESO A LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO OTORGADA POR EL DIRECTOR DISTRITAL DE EDUCACIÓN 06D01 CHAMBO RIOBAMBA
- ANEXO F:** OFICIO AL DIRECTOR DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO
- ANEXO G:** CERTIFICADO OTORGADO POR LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO

RESUMEN

En la actualidad, la falta de un sistema de traducción limita la comunicación y el aprendizaje de las personas no hablantes en diferentes ámbitos. Se hace evidente la necesidad de desarrollar e implementar soluciones tecnológicas, por lo tanto, el diseño e implementación de un Sistema de Traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito para personas no hablantes mediante visión artificial se plantea como una solución. La metodología implementada tuvo un enfoque cualitativo y cuantitativo, se utilizó Mediapipe, que es una biblioteca que facilita la detección, seguimiento y reconocimiento de la mano a partir de fotogramas para obtener información sobre 21 puntos de referencia de la mano (coordenadas X, Y e Z) que corresponden a las falanges y nudillos. La población de estudio fueron los estudiantes y docentes de la Unidad Educativa Especializada sordos de Chimborazo, siendo fundamental la aplicación de una investigación documental y de campo para obtener información de la correcta articulación del alfabeto dactilográfico ecuatoriano. Los resultados obtenidos de la matriz de confusión confirman la eficiencia en cuanto a rendimiento del sistema de traducción dando un desempeño general del 100 %. El Sistema fue evaluado en diferentes condiciones lumínicas, en condiciones óptimas (más de 1000 lux), se logra una detección del 100 % de los gestos. En condiciones moderadas (100 a 900 lux), la precisión se mantiene alta con un 94 % de detección. Incluso en condiciones de baja luminosidad (menos de 100 lux), el sistema conserva una buena capacidad de detección con un 88 %. Su alta precisión y confiabilidad en la detección de gestos les permite interactuar con fluidez y seguridad en diversos contextos, desde conversaciones casuales hasta entornos académicos y profesionales.

Palabras clave: <SISTEMA DE TRADUCCIÓN>, <LENGUAJE DE SEÑAS NATURAL>, <DACTILOLÓGICO>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <MEDIAPIPE>, <CONDICIONES LUMÍNICAS>

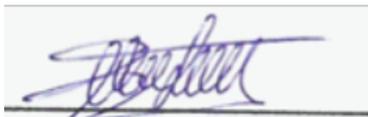
0369-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The lack of a translation system is a barrier to communication and learning for non-speakers across various domains. Therefore, it is essential to develop and implement technological solutions. This paper proposes to design and implement a System for Translation from fingerspelling sign language to written natural language for non-speakers using computer vision. Both quantitative and qualitative approaches were employed in the methodology. The study used Mediapipe, a library that facilitates hand detection, tracking, and recognition from data structures to obtain information about 21 hand landmarks. The study population comprised students and teachers from the Specialized Deaf School of Chimborazo, and documentary and field research were conducted to gather information on the correct articulation of the Ecuadorian fingerspelling alphabet. The confusion data confirmed the system's efficiency, achieving a performance of 100%. The system was evaluated under different lighting conditions, yielding 100% gesture detection in optimal conditions (over 1000 lux). Under moderate lighting conditions (100 to 900 lux), precision remains high at a 94% detection rate. Even under low-light conditions (less than 100 lux), the system maintains good detection capability with an 88% accuracy rate. Its high precision and reliability in gesture detection enable fluent and secure interaction across various contexts, from casual conversations to academic and professional environments.

KEY WORDS: <TRANSLATION SYSTEM>, <NATURAL SIGN LANGUAGE>, <FINGERSPELLING>, <COMPUTER VISION>, <MEDIAPIPE>, <LIGHTING CONDITIONS>



Lic. Maritza Larrea Mg.
0603370784

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial avanza rápidamente y se está aplicando a una amplia gama de áreas. Como resultado, la interacción entre las máquinas y los humanos se ha vuelto cada vez más importante. Para que esta interacción sea efectiva, las máquinas deben poder percibir y comprender los comportamientos y deseos humanos. Por lo tanto, la definición de los conceptos de comportamiento humano y de máquina para computadoras y robots es un tema de creciente importancia en el ámbito de la visión artificial.

La comunicación es una herramienta esencial para el crecimiento personal, ya que permite a las personas interactuar con el mundo que las rodea. La comunicación se puede manifestar de diversas maneras, siendo la oral la más común. Sin embargo, algunas personas pueden enfrentar desafíos que dificultan su capacidad para comunicarse, como la discapacidad auditiva para personas no hablantes. Esta limitación puede tener un impacto negativo en el desarrollo personal, educativo y profesional de la persona afectada, restringiendo su participación en la sociedad.

La lengua de señas ecuatoriana es un idioma natural que utilizan las personas sordas para comunicarse. Este lenguaje es tan completo y complejo como cualquier otro idioma oral, y permite a las personas no hablantes (sordas) expresarse y participar plenamente en la sociedad. La falta de conocimiento de la lengua de señas por parte de la sociedad puede generar barreras de comunicación y exclusión, impidiendo la construcción de una comunidad equitativa e inclusiva.

Las TIC pueden ofrecer a las personas con discapacidad auditiva nuevas oportunidades para participar plenamente en la sociedad. Estas tecnologías pueden proporcionar acceso a la educación, al empleo y a la información, lo que puede contribuir a mejorar su calidad de vida. Se propone implementar un sistema que emplee visión artificial para la traducción del lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito. Este sistema implicaría la captura de imágenes, el aprendizaje de datos, así como el procesamiento e interpretación de los resultados. La visión artificial presenta ventajas y oportunidades innovadoras, con aplicaciones potenciales en campos como la medicina, la industria y la educación.

ANTECEDENTES

Se encuentran diversas investigaciones que contribuyen al avance en el bienestar de las personas con discapacidad auditiva, las cuales se mencionan a continuación:

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Telecomunicaciones “SISTEMA AUTOMÁTICO DE DECODIFICACIÓN DE LENGUA DE SEÑAS ECUATORIANO A COMUNICACIÓN VERBAL” desarrollado por Wendy Patricia Gavilanes Proaño en agosto del 2023, Ambato (Ecuador). Se construyó un guante electrónico para la mano derecha, con cinco sensores Flex, un sensor inercial MPU6050 y una placa Arduino Nano, los cuales se encargaron de registrar los movimientos de la mano y los dedos, como lo son flexión, extensión e inclinación, estos datos son procesados mediante Python para crear la

base de datos, con la finalidad de aplicar algoritmos de aprendizaje automático. Los algoritmos estudiados son k-Nearest Neighbors (KNN) y Random Forest, con precisiones de entrenamiento del 94,62% y 96,20% respectivamente. Finalmente, aplicando el modelo Random Forest se creó una interfaz gráfica en Streamlit, donde el usuario puede visualizar la traducción de la lengua de señas mediante texto y una salida de audio (Proaño, 2023, págs.15-16).

El artículo de investigación titulado “MOVILIDAD Y APRENDIZAJE: UTILIZACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA TRADUCCIÓN DE TEXTOS EN LSC” publicado el 26 de febrero del 2021, presenta un aplicativo móvil que permite al sordo traducir textos en español a LSC. Dado que las personas sordas se enfrentan a barreras comunicativas por el uso frecuente del español, y que los procesos educativos para los sordos presentan deficiencias para crear habilidades de comprensión de letreros y etiquetas de su entorno (Castiblanco, 2021, págs.76-77).

Tesis para optar el título de Ingeniero “SISTEMA DE TRADUCCIÓN DE LENGUAJE DE SEÑAS A LENGUAJE ORAL Y ESCRITO MEDIANTE UN GUANTE ELECTRÓNICO” desarrollado por Byron Fernando Garzón Tipán en el año 2020, Quito (Ecuador). El modelo de traducción que se ha propuesto utilizar un guante electrónico provisto de sensores de flexión y micro pulsadores dispuestos de tal manera que puedan discriminar los gestos de la mano derecha para traducir a un lenguaje escrito y oral. La programación de los signos se realiza en una tarjeta Arduino que recibe las señales que proporcionan los gestos de las manos y los traduce al lenguaje que conocemos. Además, el módulo Bluetooth instalado en el sistema hace posible la conexión inalámbrica entre el guante electrónico y un dispositivo Android (Garzón, 2020, págs.11-12).

Trabajo de titulación para optar el título de Ingeniero en Sistemas denominado “SISTEMA COMPUTACIONAL BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL QUE MEJORA LA COMUNICACIÓN CON UNA PERSONA SORDOMUDA MEDIANTE EL ALFABETO DE SEÑAS” desarrollado por Israel Chore Montenegro y Manuel Gabriel Purihuaman Pravia en el año 2023, Lambayeque (Perú). El objetivo primordial es construir un algoritmo (conjunto de pasos a seguir para resolver un problema) que permita el reconocimiento de las señas del alfabeto de signos peruano, de esta manera nos permite comunicarnos con personas que padecen de deficiencia auditiva, debido a la gran importancia actual de incluir a más personas en nuestra sociedad. Y para este fin proponemos el uso de tecnologías como la visión artificial y también las redes neuronales convolucionales; y emplear Python como lenguaje de programación, el cual está teniendo un mayor auge actualmente en la comunidad de programadores (Montenegro, 2023, págs.6-7).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito para personas no hablantes mediante visión artificial?

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Diseñar e implementar un sistema de traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito para personas no hablantes mediante visión artificial.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Estudiar las técnicas de procesamiento de imágenes utilizando inteligencia artificial para determinar las más adecuada a implementar en el sistema.
- Diseñar y entrenar una red neuronal para ser capaz de detectar el abecedario de lenguaje de señas ecuatoriano a través de la gesticulación de las manos.
- Diseñar una interfaz que traduzca el lenguaje de señas a lenguaje natural escrito para personas no hablantes.
- Evaluar el funcionamiento del sistema mediante la matriz de confusión de la red neuronal.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación Teórica*

Según el estudio regional de Prevalencia de Desórdenes del Oído y Audición, realizado en el Ecuador en el 2009 por el grupo Vienatone y la Organización Mundial de la Salud (OMS), se determina que la prevalencia de desórdenes auditivos a nivel de país es de 5 %, y en menores de 4 años es de 4,3 %. En la población infantil de 5 a 9 años, se estima una incidencia de la discapacidad auditiva del 5 %. (MSP, 2022, págs.9-10)

La justificación de este tema se fundamenta en la necesidad de promover la inclusión y la accesibilidad para las personas con discapacidad auditiva, especialmente aquellas que no hablan. Estas personas se enfrentan a barreras significativas en su comunicación y participación social. El desarrollo de un sistema de lenguaje de señas natural dactilológico mediante visión artificial se

plantea como una solución tecnológica que puede ayudar a superar estas barreras y mejorar su integración en la sociedad. La discapacidad no es una condición inherente a las personas, sino una consecuencia de una sociedad que no está adaptada a sus necesidades. Por lo tanto, el objetivo no debe ser rehabilitar o normalizar a las personas con discapacidad, sino adaptar la sociedad para que sea más inclusiva.

Los avances recientes en la tecnología de detección de gestos han abierto nuevas posibilidades para el desarrollo de sistemas de lenguaje de señas natural dactilológico. Los algoritmos de aprendizaje automático y las redes neuronales convolucionales han demostrado ser especialmente eficaces en la identificación y clasificación precisa de los gestos de las manos. El desarrollo de este tipo de sistemas también contribuiría al avance de la investigación académica en áreas como la visión artificial, el reconocimiento de gestos y la tecnología de asistencia para personas con discapacidades comunicativas. Esto genera interés tanto en la comunidad académica como en la industria, estimulando el desarrollo de nuevas tecnologías y fomentando la colaboración en investigaciones futuras.

En conclusión, la justificación de este tema se basa en la necesidad de proporcionar a las personas no hablantes una forma efectiva de comunicación. El diseño e implementación de un sistema de traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito basado en visión artificial puede contribuir a ello. Este enfoque tiene el potencial de mejorar la inclusión y la accesibilidad de estas personas, aprovechando los avances tecnológicos en reconocimiento de gestos y fomentando la igualdad de oportunidades en la sociedad.

1.3.2 *Justificación Aplicativa*

El propósito principal de este sistema como se muestra en la Ilustración 1-1 es enriquecer la comunicación de las personas no hablantes, brindándoles una herramienta efectiva basada en visión artificial que les permita expresarse y comprender a los demás, superando las barreras de comunicación que enfrentan en su vida diaria. Además, el desarrollo de este sistema facilitaría el acceso a una educación inclusiva para las personas no hablantes, utilizando el lenguaje de señas como medio de instrucción, lo cual es fundamental para su desarrollo académico. El desarrollo de un sistema de lenguaje de señas natural escrito dactilológico basado en visión artificial podría contribuir a mejorar la comunicación de estas personas, brindándoles nuevas oportunidades para la inclusión social, la autonomía personal y el desarrollo profesional. En concreto, este sistema podría ayudar a las personas no hablantes a:

- Comunicarse de manera independiente y efectiva con los demás, sin depender de intérpretes u otras formas de asistencia.
- Participar en actividades sociales y comunitarias, fomentando su inclusión social y brindándoles igualdad de oportunidades.
- Desempeñar roles más amplios en el mercado laboral, aumentando sus oportunidades profesionales.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se enfoca en los fundamentos teóricos del lenguaje de señas ecuatoriano dactilológico y las tecnologías relevantes para su procesamiento. Se exploran las características lingüísticas del lenguaje de señas ecuatoriano y la dactilología, incluyendo su gramática y léxico. Se revisan las técnicas de procesamiento de imágenes, visión artificial, redes neuronales artificiales y otros conceptos necesarios para ampliar el conocimiento en este ámbito. Se analizan los sistemas existentes para el lenguaje de señas, evaluando sus fortalezas y debilidades. Finalmente, se discuten las consideraciones de accesibilidad, usabilidad, que deben tenerse en cuenta al desarrollar un sistema de lenguaje de señas.

2.1 Dactilología

La dactilología (del griego “daktilos” -dedos-, y “logia” -ciencia-, ciencia de los dedos) es un sistema de comunicación diseñado para transmitir información mediante los dedos de las manos. Este sistema se utiliza habitualmente en las lenguas de señas como parte fundamental en la expresión de alfabetos manuales.

Al igual que las lenguas orales cuentan con diferencias fonéticas que las distinguen entre sí, los sistemas de dactilología varían en función de la lengua oral a la que se adhieren. De esta manera cada lengua oral cuenta con su propia lengua de señas, que a su vez cuenta con su propio sistema de dactilología.

Además de utilizarse para la representación del alfabeto de una lengua oral, la dactilología se emplea para el deletreo de nombres propios, siglas, tecnología o palabras nuevas y cuando una persona oyente o un miembro de la comunidad sorda no conoce el signo de algún término. (Macías, 2023, págs. 27-28)

2.1.1 *Mano dominante y mano base*

Dentro de los sistemas de lengua de señas existe el concepto de la mano dominante y la mano base. La mano dominante es la encargada de realizar los movimientos principales de un signo así como de indicar el sujeto y realizar dactilología, casi siempre es la mano con la que se tiene más destreza, sin embargo, esto no es siempre el caso. Por otra parte la mano base se utiliza como apoyo en la realización de algunas señas. (Macías, 2023, págs. 27-28)

2.2 Lenguaje de señas ecuatoriano (LSEC)

La Ilustración 2-1 presenta el alfabeto dactilográfico ecuatoriano, compuesto por 30 señas que corresponden a cada una de las letras.

Este Glosario Básico de Lengua de Señas Ecuatoriana es un instrumento que permitirá mantener una mejor comunicación con nuestros hermanos con discapacidad auditiva. Parte fundamental de la cultura es el idioma porque con él nos comunicamos con nuestro entorno. El idioma de una persona con discapacidad auditiva no es uno que emita sonidos, sino que se expresa con señas. Por eso, es un idioma como cualquier otro. Así como hay una lengua castellana, inglesa o china, también hay una Lengua de Señas. Tiene tanta riqueza en matices y emociones como cualquier otra y, además, posee sus modismos locales. (Vicepresidencia, 2013, págs. 21-22)

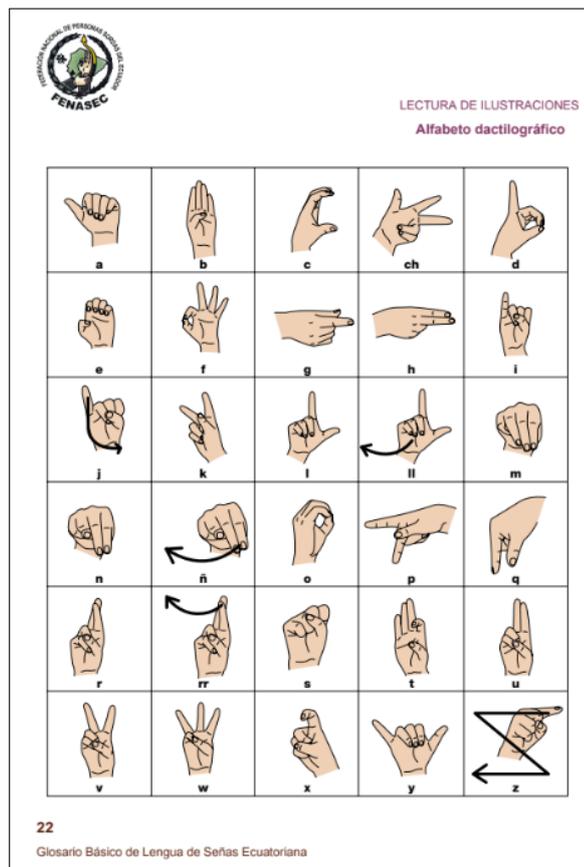


Ilustración 2-1: Alfabeto dactilográfico

Fuente: (Vicepresidencia, 2013)

2.3 Inteligencia artificial (IA)

La definición de IA como mencionan los autores no es fácil de definirla debido a que el tema es complejo, por lo cual tiene diferentes definiciones, las cuales concuerdan en que la IA es la capacidad que tienen las máquinas para practicar actividades que las realizan los humanos, es decir, imitar funciones que realizan pero con la diferencia de que estas no necesitan descansar, es por ello que ha venido ganando más espacio, y se ha aplicado en varios campos en los cuales se permiten realizar los trabajos de una manera más sencilla y más rápida. (Sarco, 2022, págs. 29-30)

2.4 La neurona

La neurona es un tipo de célula diferente del resto. Forma parte del sistema nervioso, que es el responsable de todas las funciones cognitivas. Está formada por 3 partes fundamentales: el núcleo o soma, las dendritas y el axón (Ilustración 2-2). Las señales son recibidas a través de las dendritas, estas señales pueden provenir de un sistema sensorial externo o de otra neurona. El núcleo procesa esta información y la envía por el axón el cual posee varios terminales. Una neurona puede recibir información de miles de otras neuronas y enviar información a otros miles de ellas. La comunicación entre neuronas no es física sino que se hace a través de la sinapsis, un espacio ocupado por sustancias químicas denominadas neurotransmisores. Estos son los que se encargan de bloquear o dejar pasar las señales. Dichas señales se procesan en el núcleo de la neurona y bajo ciertas condiciones apropiadas (activación) se transmiten a través del axón. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

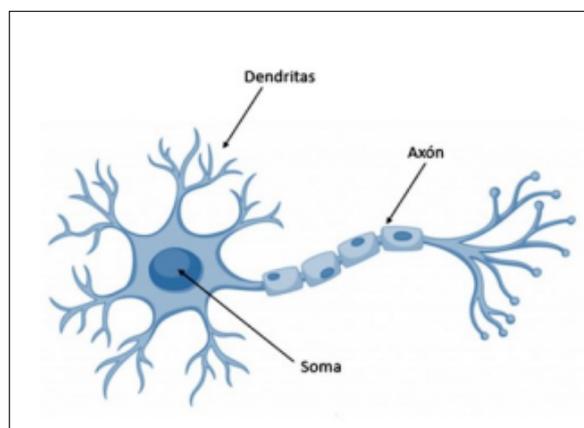


Ilustración 2-2: Representación de una neurona

Fuente: (Sierra, 2022)

2.5 La neurona artificial

La pieza básica sobre la que se desarrollan las redes neuronales es la neurona artificial (o simplemente neurona), la cual, puede ser entendida no como una estructura física, sino como una función que trata de modelar matemáticamente el funcionamiento de una neurona del cerebro humano. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

2.6 Arquitecturas neuronales

2.6.1 Según el número de capas

2.6.1.1 Redes neuronales monocapas

Se corresponde con la red neuronal más sencilla ya que tiene una capa de neuronas que proyectan las entradas a una capa de neuronas de salida donde se realizan diferentes cálculos como se presenta en la Ilustración 2-3. La capa de entrada, por no realizar ningún cálculo, no se cuenta de ahí el nombre de redes neuronales con una sola capa. Una aplicación típica de este tipo de redes es como memorias asociativas. (Serrano, 2010, págs. 17-19)

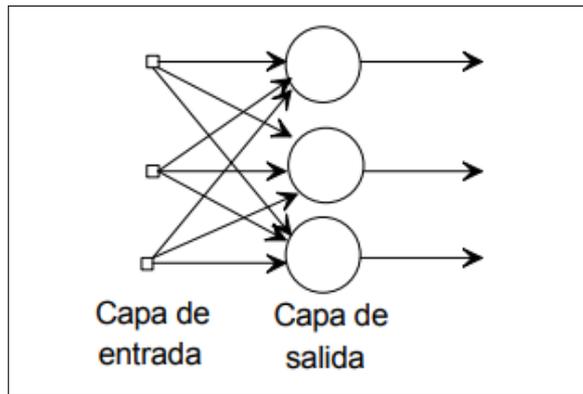


Ilustración 2-3: Esquema de una neuronal monocapa
Fuente: (Serrano, 2010)

2.6.1.2 Redes neuronales multicapa

Es una generalización de la anterior existiendo un conjunto de capas intermedias entre la entrada y la salida (capas ocultas) como se presenta en la Ilustración 2-4. Este tipo de red puede estar total o parcialmente conectada. (Serrano, 2010, págs. 17-19)

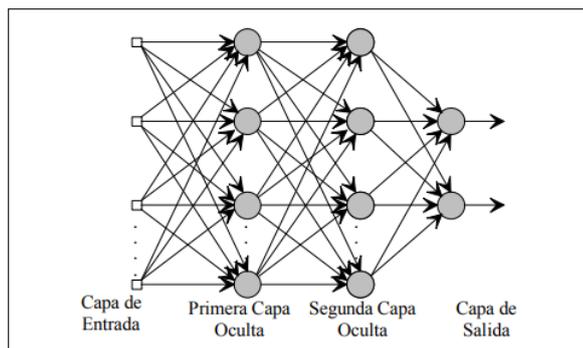


Ilustración 2-4: Esquema de una red neuronal multicapa
Fuente: (Serrano, 2010)

2.6.2 Según el tipo de conexiones

2.6.2.1 Redes neuronales no recurrentes

En esta red la propagación de las señales se produce en un sentido solamente, no existiendo la posibilidad de realimentaciones. Lógicamente estas estructuras no tienen memoria. (Serrano, 2010, págs. 17-19)

2.6.2.2 Redes neuronales recurrentes

Esta red viene caracterizada por la existencia de lazos de realimentación. Estos lazos pueden ser entre neuronas de diferentes capas, neuronas de la misma capa o, más sencillamente, entre una misma neurona. Esta estructura recurrente la hace especialmente adecuada para estudiar la

dinámica de sistemas no lineales. La Ilustración 2-5 representa el esquema de una red recurrente. (Serrano, 2010, págs. 17-19)

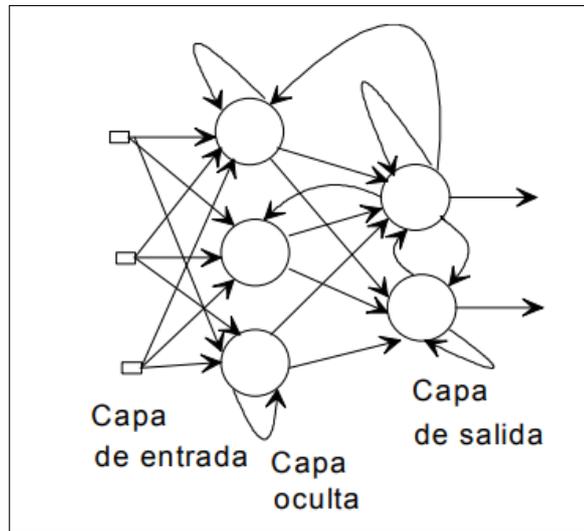


Ilustración 2-5: Esquema de una red recurrente
Fuente: (Serrano, 2010)

2.6.3 Según el grado de conexión

2.6.3.1 Redes neuronales totalmente conectadas

En este caso todas las neuronas de una capa se encuentran conectadas con las de la capa siguiente (redes no recurrentes) o con las de la anterior (redes recurrentes). (Serrano, 2010, págs. 17-19)

2.6.3.2 Redes parcialmente conectadas

En este caso no se da la conexión total entre neuronas de diferentes capas. (Serrano, 2010, págs. 17-19)

2.7 Redes convolucionales

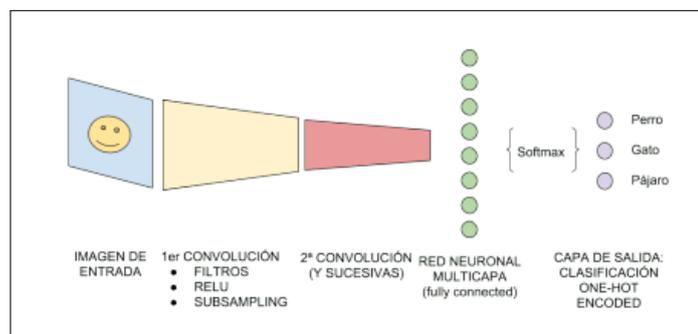


Ilustración 2-6: Red neuronal convolucional
Fuente: (Bonilla, 2020)

Son modelos que se utilizan en mayor frecuencia para el procesamiento de imágenes y visión para ordenadores. Están diseñadas de tal manera que imitan la estructura de la corteza visual animal. Las

redes de neuronas convolucionales tienen neuronas dispuestas en tres dimensiones: anchura, altura y profundidad como se presenta en la Ilustración 2-6. Aquí, las neuronas de una capa solamente están conectadas a una pequeña región de la capa anterior. (Bonilla, 2020, págs. 8-9)

2.8 Funciones de activación

La entrada de estas funciones es la suma ponderada de los valores de entrada de las neuronas por sus pesos, sumando el parámetro de Bias. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

2.8.1 Función de salto binaria

La primera de las funciones de activación que usaron las redes neuronales artificiales, está presente en las estructuras del Perceptrón y Hopfield. Haciendo uso del Bias o parámetro de sesgo, se puede desplazar esta función según se requiera. Puede tomarse tanto el valor 0 como 1 en la discontinuidad de la función. Es una función que anula todos los valores que estén a la izquierda de la discontinuidad y establece en 1 todos aquellos que estén a la derecha. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

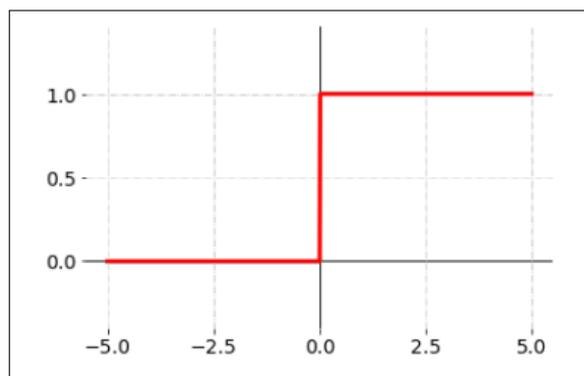


Ilustración 2-7: Función salto binario

Fuente: (Sierra, 2022)

2.8.2 Función sigmoide

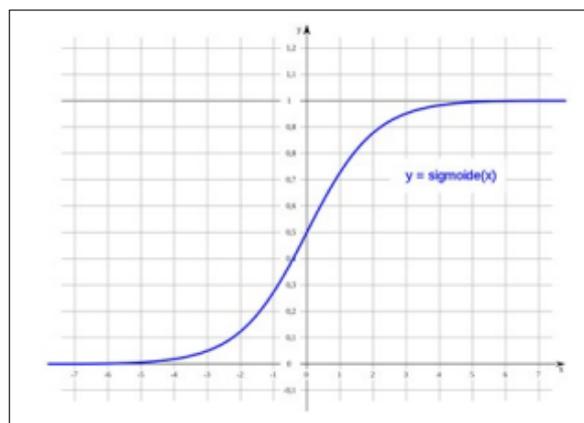


Ilustración 2-8: Función sigmoide

Fuente: (Sierra, 2022)

Otra función bastante usada al final de las redes neuronales refleja muy bien la curva de aprendizaje

de cualquier red, penalizando aquellos valores cercanos a cero o a uno. Su coste computacional es bastante elevado lo que hace que para estructuras elaboradas de redes neuronales no se use dicha función de activación en las capas intermedias. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

2.8.3 *Tangente hiperbólica (Tanh)*

Actúa de manera similar a las 2 funciones de activación anteriores, devolviendo los valores en el intervalo $(-1,1)$ en lugar de $(0,1)$. Al igual que la sigmoide, refleja muy bien la curva de aprendizaje del modelo. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

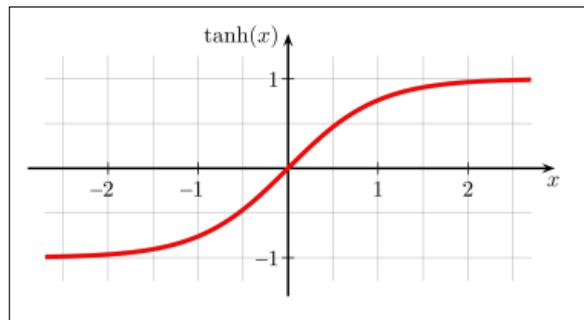


Ilustración 2-9: Función tangente hiperbólica

Fuente: (Sierra, 2022)

2.9 Visión artificial

La visión artificial es una disciplina que engloba todos los procesos y elementos que proporcionan ojos a una máquina, se podría decir que: la visión artificial o comprensión de imágenes describe la deducción automática de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, bien a partir de una o varias imágenes bidimensionales de ese mundo. La visión, tanto para un hombre como para un ordenador, consta principalmente de dos fases: captar una imagen e interpretarla. Así que en la visión artificial lo que resta es interpretar las imágenes, distinguir los objetos de la escena, extraer información de ellos y resolver aspectos más particulares según las necesidades que se deseen satisfacer. (González, 2006, págs. 15-16)

2.9.1 *Etapas en un proceso de visión artificial*

La visión artificial lleva asociada una enorme cantidad de conceptos relacionados con hardware, software y también con desarrollos teóricos. La Ilustración 2-10 representa el diagrama de bloques de las etapas de un sistema de visión artificial.

- El primer paso en el proceso es adquirir la imagen digital. Para ello se necesitan sensores y la capacidad para digitalizar la señal producida por el sensor.
- Una vez que la imagen digitalizada ha sido obtenida, el siguiente paso consiste en el preprocesamiento de dicha imagen. El objetivo del preprocesamiento es mejorar la imagen de forma que el objetivo final tenga mayores posibilidades de éxito.

- El paso siguiente es la segmentación. Definida en sentido amplio, su objetivo es dividir la imagen en las partes que la constituyen o los objetos que la forman. En general la segmentación autónoma es uno de los problemas más difíciles en el procesamiento de la imagen. Por una parte, una buena segmentación facilitará mucho la solución del problema; por otra, la segmentación errónea conducirá al fallo.
- La salida del proceso de segmentación es una imagen de datos que, o bien contienen la frontera de la región o los puntos de ella misma. Es necesario convertir estos datos a una forma que sea apropiada para el ordenador. La primera decisión es saber si se va a usar la representación por frontera o región completa. La representación por la frontera es apropiada cuando el objetivo se centra en las características de la forma externa como esquinas o concavidades y convexidades. La representación por regiones es apropiada cuando la atención se centra en propiedades internas como la textura o el esqueleto. Sin embargo, en muchas aplicaciones ambas representaciones coexisten.
- La elección de una representación es sólo una parte de la transformación de los datos de entrada. Es necesario especificar un método que extraiga los datos de interés. La parametrización, que recibe también el nombre de selección de rasgos se dedica a extraer rasgos que producen alguna información cuantitativa de interés o rasgos que son básicos para diferenciar una clase de objetos de otra. (González, 2006, págs. 15-16)

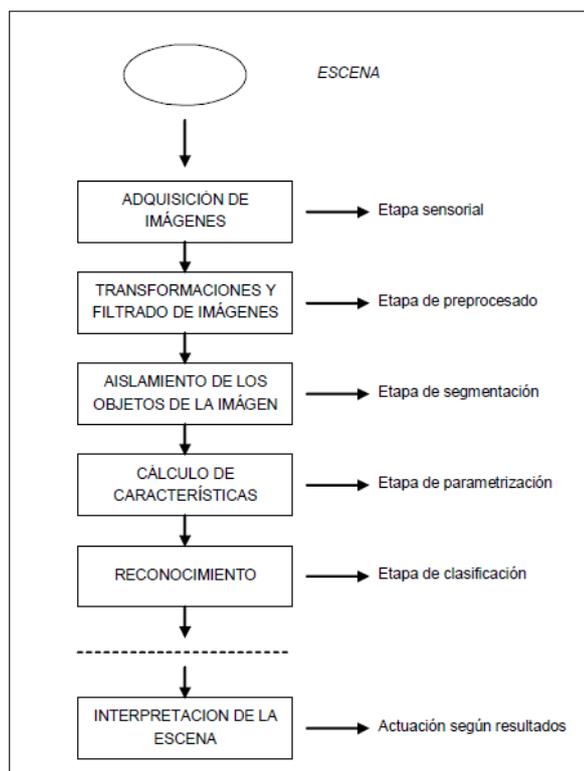


Ilustración 2-10: Diagrama de bloques de las etapas de un sistema de visión artificial

Fuente: (González, 2006)

2.10 Matriz de confusión

La matriz de confusión es una herramienta de análisis predictivo en aprendizaje automático. Para comprobar el rendimiento de un modelo de aprendizaje automático basado en la clasificación, se utiliza la matriz de confusión. También podemos decir que la matriz de confusión es una tabla estival del número de predicciones correctas e incorrectas que arroja un clasificador (o un modelo de clasificación) para tareas de clasificación binaria.

Una matriz de confusión es una matriz $N \times N$ utilizada para evaluar el rendimiento de un modelo de clasificación, donde N es el número de clases objetivo. Visualizando la matriz de confusión, una persona podría determinar la exactitud del modelo observando los valores diagonales para medir el número de clasificaciones precisas. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

		True Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN

Ilustración 2-11: Matriz de confusión

Fuente: (Karimi, 2021)

La matriz de confusión tiene la forma de una matriz cuadrada como se denota en la Ilustración 2-11 en la que la columna representa los valores reales y la fila el valor predicho del modelo, y viceversa.

- **TP:** Verdadero positivo: El valor real fue positivo y el modelo predijo un valor positivo.
- **FP:** Falso positivo: La predicción es positiva y el valor real es falsa. (También conocido como error de tipo 1)
- **FN:** Falso Negativo: Su predicción es negativa, y el valor real es positivo. (También conocido como error de tipo 2)
- **TN:** Verdadero Negativo: El valor real era negativo y el modelo predijo un valor negativo. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

2.11 Métricas de una matriz de confusión

- **Exactitud:** La exactitud es una medida del número de predicciones correctas realizadas por el modelo para el conjunto completo de datos de prueba. La exactitud es una buena métrica

básica para medir el rendimiento del modelo. En conjuntos de datos desequilibrados, la exactitud se convierte en una métrica pobre. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

$$Exactitud = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Ecuación 2-1: Fórmula para calcular la exactitud

- **Precisión:** La precisión nos indica cuántos de los casos predichos correctamente resultaron ser positivos. Esto determinaría si nuestro modelo es fiable o no. La precisión es una métrica útil en los casos en los que los falsos positivos son más preocupantes que los falsos negativos. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

$$Precision = \frac{TP}{TP + FN}$$

Ecuación 2-2: Fórmula para calcular la precisión

- **Recall (sensibilidad):** La recuperación nos indica cuántos de los casos positivos reales hemos podido predecir correctamente con nuestro modelo. La recuperación es una métrica útil en los casos en los que los falsos negativos superan a los falsos positivos.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Ecuación 2-3: Fórmula para calcular la sensibilidad

Un recall más alto significa que la mayoría de los casos positivos (TP+FN) se etiquetarán como positivos (TP). Esto conducirá a un mayor número de mediciones FP y a una menor precisión global. Una recuperación baja significa que hay un número elevado de FN (que deberían haber sido positivos, pero se han etiquetado como negativos). Esto significa que se tiene más certeza de haber encontrado un caso positivo, es decir, que se trata de un verdadero positivo. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

- **F1-Score:** Cuando intentamos aumentar la precisión del modelo, la recuperación disminuye y viceversa. La F1-Score es una media armónica de la precisión y recall, por lo que da una idea combinada de estas dos métricas. Es máxima cuando la precisión es igual al recall.

$$F1 - Score = \frac{1}{\frac{1}{recall} + \frac{1}{precision}}$$

Ecuación 2-4: Fórmula para calcular el F1-Score

La interpretabilidad de F1-Score es pobre, lo que significa que no sabemos qué está maximizando nuestro clasificador: la precisión o la recuperación. Por tanto, se utiliza en combinación con otras métricas de evaluación que ofrecen una imagen completa del resultado. (Karimi, 2021, págs. 1-4)

2.12 Técnicas básicas de procesamiento

El procesamiento digital de imágenes, incluye un conjunto de técnicas que operan sobre la representación digital de una imagen, a objeto de destacar algunos de los elementos que conforman la escena, de modo que se facilite su posterior análisis, bien sea por parte de un usuario (humano) o un sistema de visión artificial. En general, las técnicas de procesamiento de imágenes son aplicadas cuando resulta necesario realzar o modificar una imagen para mejorar su apariencia o para destacar algún aspecto de la información contenida en la misma, o cuando se requiere, medir, contrastar o clasificar algún elemento contenido en la misma. También se utilizan técnicas de procesamiento, cuando se requiere combinar imágenes o porciones de las mismas o reorganizar su contenido. Con el propósito de hacer más clara la presentación de las técnicas básicas de procesamiento, se ha creído conveniente clasificarlas en dos categorías. La primera se basa en puntos de la imagen, que agrupa aquellas operaciones de procesamiento donde el valor del pixel de salida solo depende de su valor de entrada. La segunda incluye técnicas basadas en una región de la imagen, donde un pixel de la imagen de salida depende tanto del valor del pixel en la imagen de entrada como de una vecindad del mismo. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.1 Técnicas de procesamiento basada en puntos de la imagen

Estas técnicas consisten en algoritmos que modifican el valor de un pixel basados únicamente en el valor previo de tal pixel o en su localización. Ningún otro valor de pixel se involucra en la transformación. El procesamiento se realiza desarrollando un barrido pixel por pixel dentro de la imagen a procesar. De manera general estas técnicas no modifican las relaciones espaciales dentro de la imagen y en consecuencia no pueden modificar el grado de detalle contenido en las mismas, son simples y pueden resultar útiles solas o en conjunto con otras técnicas más complejas, y debido a su simplicidad, su implementación se puede realizar en circuito electrónico para una ejecución en tiempo real. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.1.1 Histograma de una imagen

El histograma de una imagen es ampliamente utilizado como herramienta tanto cualitativa como cuantitativa. Este corresponde a un gráfico de la distribución de valores de intensidad de los pixeles de una imagen (niveles de gris) o de una porción de la misma. Podemos denotar como $h(i)$, el número de pixeles que dentro de la región de interés tiene el valor de intensidad i , donde $i = 0, 1, 2, \dots, iL-1$ es el número posible de niveles de gris para la imagen. Los valores $h(i)$, corresponderán entonces a los valores del histograma. El gráfico del histograma es bidimensional y en él se grafica $h(i)$ en función de i . Tal gráfico, puede proporcionar importante información acerca del brillo y contraste de una imagen así como de su rango dinámico. En la Ilustración 2-12 se muestra el dibujo de un histograma típico.

Si bien el histograma de la ilustración anterior no representa a una imagen real, resulta posible a partir del mismo, deducir alguna información hipotética acerca de lo que sería la imagen. Por ejemplo, la imagen tiene 64 niveles de gris, sin embargo, tal rango no es utilizado de manera

completa, pues no se tienen pixeles con valores superiores a 50. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

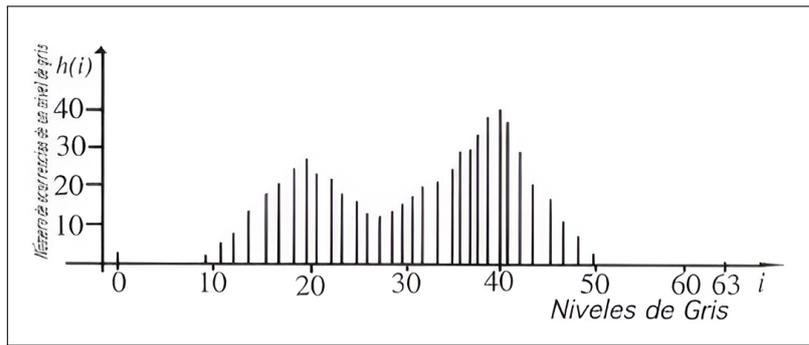


Ilustración 2-12: Histograma para los niveles de intensidad de una imagen, con $L=64$

Fuente: (Passariello, 1995)

2.12.1.2 Realce de imágenes por modificación del contraste

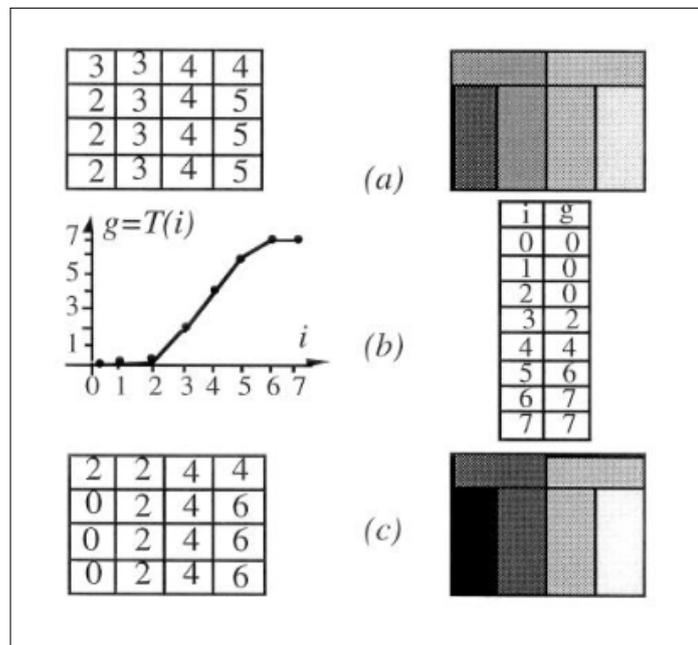


Ilustración 2-13: Ejemplo de la modificación de la escala de grises. a) Imagen de 4 x 4 pixeles, con cada pixel representado por 3 bits; b) Función de transformación de los niveles de gris; c) Resultado de modificar la imagen en a), usando la transformación de niveles de gris especificada en b)

Fuente: (Passariello, 1995)

Una de las imperfecciones más comunes de las imágenes digitales, es el pobre contraste resultante de un rango de intensidad reducido en comparación al rango disponible de niveles de gris (por ejemplo de 0 a 255 niveles). El contraste de una imagen, puede mejorarse mediante el re-escalamiento de la intensidad de cada pixel. Según este método, el nivel de gris correspondiente a un pixel en la imagen de entrada y que denotaremos por i , se modifica de acuerdo a una transformación específica. Tal transformación $g=T(i)$, relaciona la intensidad de entrada i , con la intensidad de salida g y usualmente se representa mediante un dibujo o una tabla. A manera de ejemplo, la

Ilustración 2-13a muestra una imagen de 4 x 4 píxeles, donde cada píxel se ha representado con 3 bits, de modo que en total sería posible representar 8 niveles de gris. La transformación que relaciona la intensidad de entrada con la intensidad de salida, se muestra en la Ilustración 2-13b. De acuerdo a tal transformación, para cada píxel de la imagen de entrada, se obtiene la correspondiente intensidad en la imagen de salida. El resultado obtenido en este caso particular se muestra en la Ilustración 2-13c, en donde podemos observar que el contraste entre las zonas oscuras y claras dentro de la imagen, se incrementa apreciablemente. Eligiendo apropiadamente la transformación específica, puede modificarse de manera casi arbitraria el contraste y rango dinámico de la imagen. En general, los programas de procesamiento de imágenes permiten al usuario definir de manera interactiva la función de transformación, operando sobre un gráfico como el de la Ilustración 2-13b para establecer tal función. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.1.3 Realce de imágenes por ecualización del histograma

La ecualización del histograma es una técnica de transformación no lineal que opera sobre los píxeles de una imagen de entrada y busca producir una imagen de salida con un histograma que se aproxima a un histograma especificado, usualmente constante, tal como se ve en la Ilustración 2-14 en donde los niveles de gris i de una imagen de entrada con histograma $h(i)$ son modificados mediante la transformación $g = T(i)$, con el objeto de producir una imagen de salida que tenga un histograma $h(g)$. Generalmente la transformación T es una función monótona creciente.

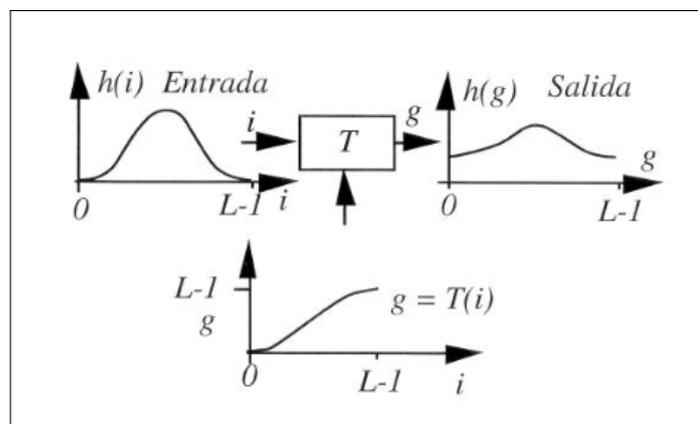


Ilustración 2-14: Principio de la ecualización del histograma. La imagen se procesa mediante una transformación no lineal de manera que el histograma de la imagen de salida, sea lo más aproximado posible a $h(g)$

Fuente: (Passariello, 1995)

La ecualización del histograma, es un procedimiento que redistribuye los niveles de gris del histograma de una imagen, utilizando de la mejor manera posible, el rango disponible de niveles de gris en la imagen de salida. Un caso particular de ecualización del histograma el cual es utilizado con frecuencia, corresponde a considerar que el histograma de la imagen de salida es constante. En este caso, normalmente los algoritmos que implantan este tipo de ecualización buscan producir de manera aproximada un histograma que tenga la forma especificada. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.1.4 Perfil en una imagen

En muchas ocasiones, cuando se procesa una imagen de manera interactiva, resulta muy conveniente, representar gráficamente el valor de los pixeles que componen por ejemplo una línea o una columna o de manera general, según una recta que tenga dirección arbitraria. Tal perfil permite determinar información importante referente a la imagen, como por ejemplo los valores máximos y mínimos de nivel de gris, según la dirección elegida así como información referente al nivel de ruido y a la naturaleza de los contornos presentes en la misma. Tal información si bien no es global, sino asociada a la dirección elegida, puede ser importante y ayudar, por ejemplo, a decidir el valor de un umbral a utilizar durante el proceso de segmentación o puede orientar en referencia al tipo de procesamiento que es necesario desarrollar sobre la imagen objeto de estudio, un ejemplo es la Ilustración 2-15. (Udupa, 1993)

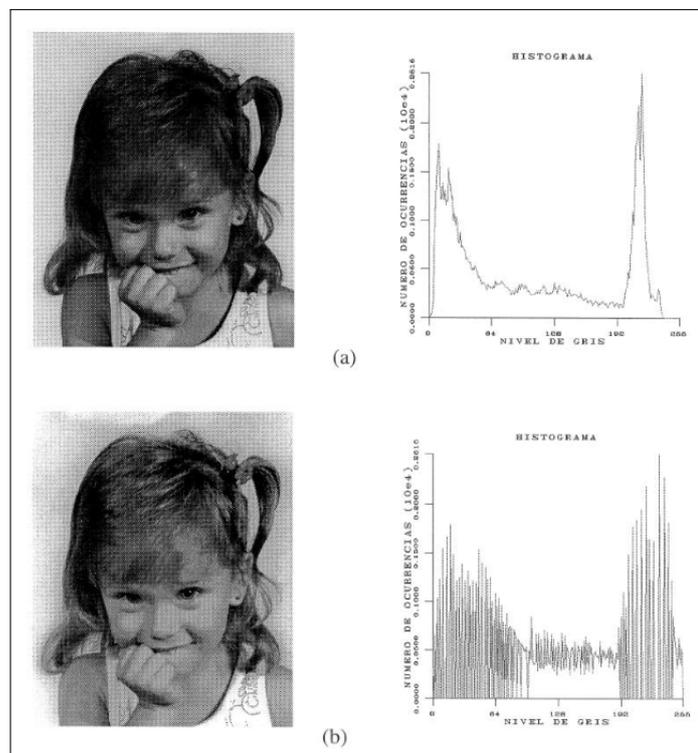


Ilustración 2-15: Ejemplo de la ecualización del histograma a) Imagen original con su correspondiente histograma, b) Imagen resultante y su histograma ecualizado

Fuente: (Passariello, 1995)

2.12.1.5 Técnicas de colores falsos y pseudocolor

La técnica de colores falsos, usualmente se emplea cuando se desea asociar a un conjunto de datos, un conjunto de colores para distinguir en los mismos, ciertos atributos, tal como ocurre cuando un sensor remoto adquiere información en la banda de infrarrojo (la cual no es visible), en tal caso, lo que se hace es asociar el color a este conjunto de datos, para apreciar mejor los detalles. (Hatton, 1986)

La técnica de pseudocolor consiste en transformar una imagen monocromática (en niveles de gris)

en una imagen a color, al asignar a cada pixel un color basado por ejemplo en su intensidad. Un método pudiera ser el siguiente: se procesa la imagen monocromática con tres filtros, uno pasa bajo, uno pasa banda y uno pasa alto. La imagen procesada con el filtro pasa bajo se asigna al color azul, la imagen procesada con el filtro pasa banda se asocia al verde y la procesada con el filtro pasa alto se asocia al rojo; luego estas tres imágenes se combinan para producir una imagen a color. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.2 Procesamiento basado en una región de la imagen

Las técnicas de procesamiento basadas en una región tienen muchas aplicaciones en la obtención de primitivas características de la imagen como por ejemplo la extracción de contornos, para realzar los contornos, para suavizar una imagen, para introducir borrosidad dentro de la misma y para atenuar el ruido aleatorio. Usan un grupo de pixeles dentro de la imagen a procesar, con el propósito de extraer información acerca de la misma. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.2.1 Convolución

En procesamiento de imágenes, la convolución corresponde a la extensión del caso unidimensional, mediante la cual una señal cualquiera podía ser procesada con un filtro arbitrario con una respuesta impulsiva conocida. (Oppenheim, 1975)

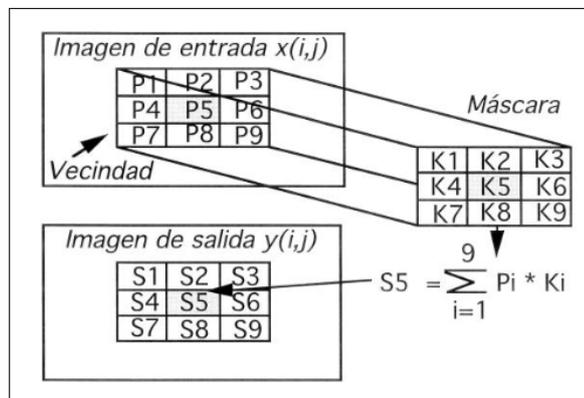


Ilustración 2-16: Proceso de convolución con una máscara. Cada pixel en la imagen de salida es el resultado de la suma de los productos entre los pixeles de la máscara y los pixeles incluidos en la vecindad correspondiente en la imagen de entrada

Fuente: (Passariello, 1995)

Para la implantación directa de convolución, asumimos que la máscara de convolución es una matriz de tamaño $(N1 \times N2)$, usualmente de 3 x 3 píxeles, la cual adicionalmente define el tamaño de la vecindad dentro de la imagen de manera que sea del mismo tamaño que la máscara. En la Ilustración 2-16 se ilustra el proceso de convolución, según el cual, para un pixel dado dentro de la imagen de entrada $x(i,j)$, cada pixel de la vecindad es multiplicado por el pixel correspondiente en la máscara de convolución, así mismo cada uno de estos productos es sumado, de manera que el nuevo valor del pixel en la imagen de salida $y(i,j)$ estará dado por la suma de todos estos productos. El procesamiento de toda la imagen se realiza desplazando la máscara y repitiendo para cada punto

el mismo procedimiento. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

- **Filtraje espacial pasa-bajo:** Los filtros espaciales pasa bajo, dejan el contenido de baja frecuencia inalterado mientras que atenúan los contenidos de alta frecuencia, este tipo de filtros resulta adecuado para atenuar ruido aditivo aleatorio presente en la imagen. (Passariello, 1995, págs. 61-98)
- **Filtraje pasa-alto:** Los filtros pasa alto, tienen la propiedad de acentuar los detalles de alta frecuencia de una imagen, normalmente los filtros pasa alto se utilizan cuando se quiere examinar objetos con alto contenido de frecuencia espacial, como consecuencia de tal procesamiento, las porciones de una imagen que presentan componentes de alta frecuencia, serán resaltadas mediante la utilización de niveles de gris más claros, mientras que aquellas con componentes de baja frecuencia serán más oscuras, en este sentido, este tipo de filtro puede ser utilizado para reforzar los bordes presentes en la imagen. Uno de los efectos indeseados de estos filtros es que pueden acentuar el ruido de la imagen. (Passariello, 1995, págs. 61-98)
- **Reforzamiento de bordes:** Otra de las técnicas de procesamiento basadas en una región de la imagen y que utiliza frecuentemente la convolución es el reforzamiento de bordes. El mismo corresponde a uno de los pasos de procesamiento utilizados en la detección de contornos. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.12.2.2 Filtraje no-lineal de la imagen

- **Filtro promediador:** En la Ilustración 2-17, se describe un algoritmo sencillo para realizar el suavizamiento o filtraje pasa bajo de una imagen contaminada con ruido aleatorio. Según esta técnica, se examina secuencialmente cada pixel, y si la magnitud del mismo, es mayor que el nivel de gris promedio de sus vecinos más un cierto umbral, tal pixel se sustituye por el valor promedio, en caso contrario, se deja tal valor inalterado.

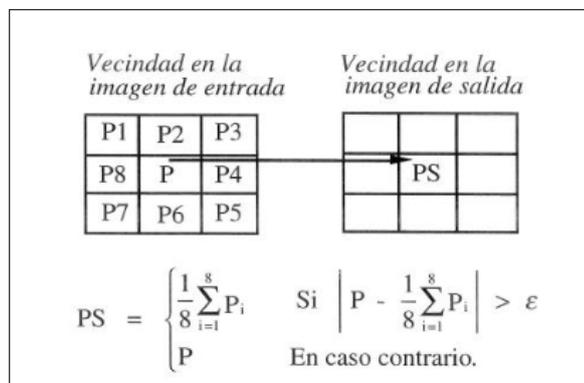


Ilustración 2-17: Ejemplo de un algoritmo de suavizamiento utilizando el filtro promediador

Fuente: (Passariello, 1995)

El tamaño de la vecindad a considerar, debe elegirse cuidadosamente, pues en caso de ser muy grande puede introducir borrosidad apreciable. El valor del umbral pudiera determinarse a partir de información del ruido que contamina a la imagen tal como la varianza del mismo. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

- Filtro de mediana:** El filtraje de mediana, es un procedimiento no-lineal, útil para reducir el ruido impulsivo y del tipo "sal y pimienta", muchas veces presente en las imágenes como se presenta en la Ilustración 2-18. El filtro de mediana utiliza los valores de los píxeles contenidos en una vecindad de tamaño impar, para determinar el nuevo valor del píxel de interés. El procedimiento para ello, consiste en clasificar todos los píxeles incluidos en la ventana en orden creciente y sustituir el píxel ubicado en el centro de la vecindad por el píxel mediano luego de la clasificación, es decir, si tenemos una secuencia discreta de tamaño N impar, entonces la mediana de tal secuencia, es aquel miembro de la secuencia, para el cual, $(N-1)/2$ elementos son más pequeños o a lo sumo iguales y $(N-1)/2$ elementos son más grandes. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

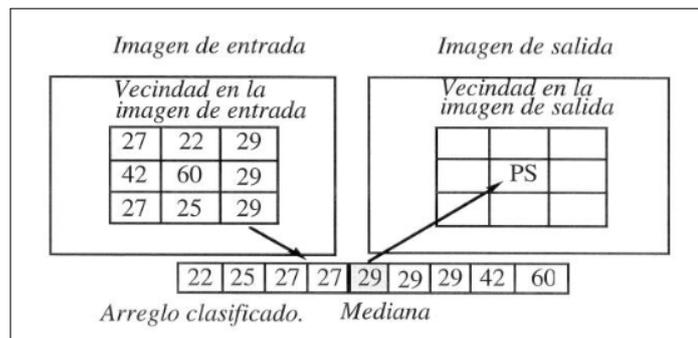


Ilustración 2-18: Procedimiento para implantar el filtro de mediana

Fuente: (Passariello, 1995)

2.12.2.3 Detección de contornos

Las técnicas de detección de contornos son útiles en diferentes contextos, en particular la detección de contornos es una de las etapas del proceso de segmentación cuyo objeto es particionar la imagen en regiones asociadas a los diferentes elementos que componen la escena, y que puede ser utilizada posteriormente para el análisis automático de los mismos mediante algoritmos de reconocimiento de formas. (González, 1987)

En la Ilustración 2-19 se muestra un enfoque clásico para la detección de bordes, según el cual la imagen, se somete a una acentuación de contornos, seguida por un detector de borde por umbral. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

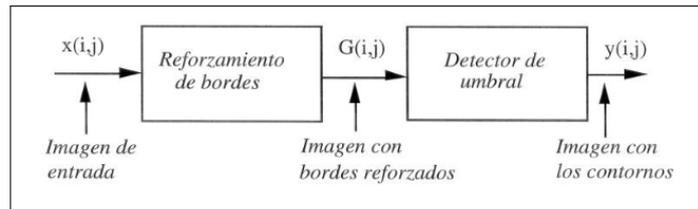


Ilustración 2-19: Sistema utilizado para la detección de contornos

Fuente: (Passariello, 1995)

2.12.2.4 Segmentación de imágenes

Para realizar la identificación de estructuras anatómicas presentes en la imagen, se utilizan las técnicas de segmentación, las cuales permiten particionar la imagen en un conjunto no solapado de regiones, cuya unión es la imagen completa. En muchas ocasiones, dependiendo de la aplicación específica, el proceso de segmentación es uno de los pasos difíciles y críticos para determinar la geometría de las diversas estructuras que componen la imagen. En general las técnicas de segmentación tienden a ajustarse a las siguientes reglas:

- Las regiones resultantes del proceso de segmentación debieran ser uniformes y homogéneas respecto a alguna característica, tal como el nivel de gris o la textura.
- Las regiones interiores debieran ser simples y no incluir abundantes huecos o estructuras ruidosas.
- Las regiones adyacentes en una segmentación debieran tener valores diferentes con respecto a la característica según la cual son uniformes.
- Los límites de cada segmento debieran ser lo más simple posibles. (Passariello, 1995, págs. 61-98)
- **Segmentación basada en el uso de un umbral:** Este tipo de segmentación, permite separar un objeto dentro de la imagen del fondo que lo circunda, la técnica se basa en comparar alguna propiedad de una imagen con un umbral fijo o variable, realizando tal comparación para cada uno de los pixeles que conforman la imagen, si el valor de la propiedad de un pixel supera el valor del umbral, entonces el pixel pertenece al objeto, en caso contrario, el pixel pertenece al fondo. (Passariello, 1995, págs. 61-98)
- **Segmentación por crecimiento de regiones:** De acuerdo a esta técnica, se buscan pixeles que tengan características similares (por ejemplo niveles de gris similares) y que adicionalmente sean vecinos. El método comienza con un pixel, el cual es seleccionado automáticamente o proporcionado por el usuario y a continuación examina los pixeles vecinos para decidir si tienen características similares. De ser así, el pixel vecino que cumpla con tal condición de similitud, es agrupado junto con los anteriores para conformar así una región. (Passariello, 1995, págs. 61-98)

2.13 Mediapipe hand

Es una técnica que permite captar la forma y movimiento de las manos para ello utiliza el aprendizaje profundo que se encarga de extraer 21 puntos de referencia 3D de una mano provenientes de un fotograma en tiempo real como se presenta en la Ilustración 2-20.

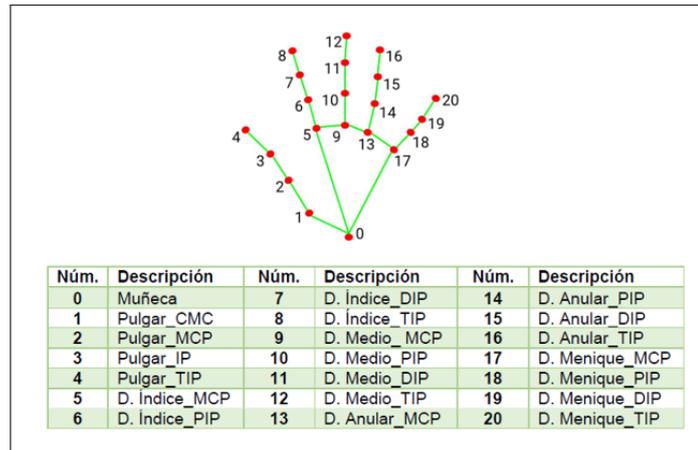


Ilustración 2-20: Puntos de referencia de la mano

Fuente: (Andrade, 2022)

El paquete de modelos de puntos de referencia de manos contiene un modelo de detección de palma y un modelo de detección de puntos de referencia de manos. El modelo de detección de la palma ubica las manos dentro de la imagen de entrada, y el modelo de detección de puntos de referencia de la mano identifica puntos de referencia específicos de la mano en la imagen recortada de la mano definida por el modelo de detección de la palma.

2.14 Luxómetro

También llamado light meter, es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. La unidad de medida es lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en un display o aguja con la correspondiente escala de luxes. (Arias, 2013, págs. 46-47)

2.15 Iluminación en la visión artificial

La fuente de luz es un componente importante de un sistema de visión artificial y debe enfatizarse en el diseño del sistema. Hasta cierto punto, la elección y el diseño de las fuentes de luz es generalmente la clave para el éxito de cualquier sistema de visión artificial. (Bin, 2009, págs. 330-334)

Se recomienda utilizar niveles de luminancia más altos para las evaluaciones de percepción de las diferencias de color cuando sea posible y evitar grandes variaciones de luminancia para mejorar la repetibilidad y reproducibilidad de los datos de evaluación visual y las concordancias con los valores calculados, en la Ilustración 2-21 se muestra la diferencia de los niveles de luminancia. (Kulappurath, 2021, págs. 929-942)

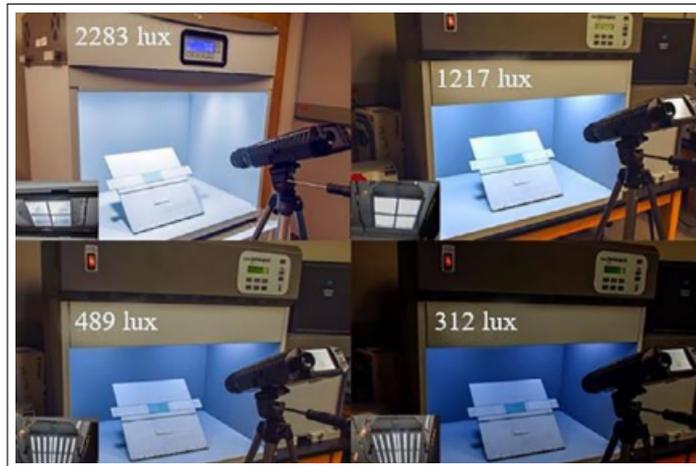


Ilustración 2-21: Niveles de luminancia y disposición de atenuadores

Fuente: (Kulappurath, 2021)

Las condiciones de la imagen se componen de dos casos, es decir, interior y exterior, de los cuales, el más complejo son las condiciones exteriores que se dividen en soleado, nublado, tarde y así sucesivamente. Las condiciones interiores se dividen en luz natural, incandescente, fluorescente y otras. Bajo diferentes condiciones, las imágenes muestran diferentes características. Como las sombras obvias de los objetos observados bajo el sol o la luz incandescente, además, el brillo de la imagen fluctúa con la variación de la iluminación. (Sogaard, 2003, págs. 141-158)

2.16 Elementos de un sistema de visión

El propósito de la iluminación es el de controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto para determinar si cumple con las especificaciones requeridas. Sin duda, si se utiliza la iluminación correcta en una aplicación, esta será de fácil solución. Por el contrario, si se utiliza una iluminación inapropiada, dicha aplicación puede que sea de imposible solución. Los objetivos de la iluminación son: optimizar el contraste, normalizar cualquier variación de la iluminación ambiente y simplificar el proceso de tratamiento posterior de la imagen (si se utilizan filtros por software el tiempo de procesado se ve incrementado). En el mercado encontramos distintas opciones para la iluminación, aquí se presentan algunas. (Nogué, 2012, págs. 6-15)



Ilustración 2-22: Halógenas

Fuente: (Nogué, 2012)

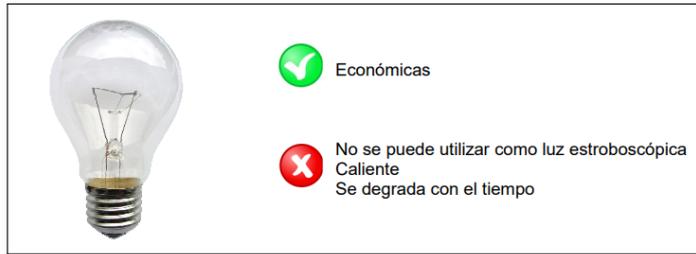


Ilustración 2-23: Incandescencia

Fuente: (Nogué, 2012)



Ilustración 2-24: Fluorescentes

Fuente: (Nogué, 2012)



Ilustración 2-25: Láser

Fuente: (Nogué, 2012)



Ilustración 2-26: Xenón.

Fuente: (Nogué, 2012)

En las Ilustraciones 2-22 a 2-26, cada fuente de iluminación emite luz en diferentes longitudes de onda (colores) útiles para las distintas inspecciones. Existen distintas técnicas de iluminación para resaltar aspectos de los objetos a analizar. A continuación se explican los sistemas de iluminación más utilizados en sistemas de visión artificial. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

2.16.1 Iluminación frontal

La cámara se posiciona mirando al objeto en la misma dirección que la luz. Esto reduce las sombras, suaviza las texturas y minimiza la influencia de rayas, polvo e imperfecciones que pueda tener el objeto. La cámara recibe la luz reflejada del objeto. Este tipo de iluminación se consigue mediante anillos de luz como se presenta en la Ilustración 2-27.

- **Aplicaciones:** indicada para superficies con pocos reflejos: papel, tela... para la detección de marcas de diferentes colores, caracteres y detección de todo lo que suponga un cambio de color en prácticamente cualquier superficie.
- **Ventajas:** elimina sombras, se puede utilizar a grandes distancias cámara/objeto.
- **Inconvenientes:** intensos reflejos sobre superficies reflectantes. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

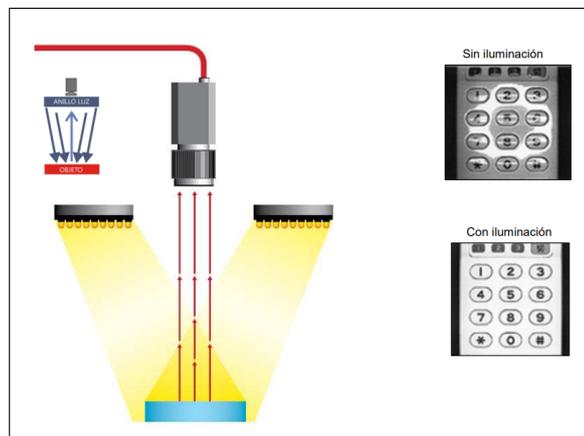


Ilustración 2-27: Iluminación frontal

Fuente: (Nogué, 2012)

2.16.2 Iluminación lateral

La cámara se posiciona mirando al objeto mientras que la dirección de la luz es lateral al objeto como se presenta en la Ilustración 2-28. El grado de inclinación del elemento emisor de luz vendrá determinado por el grado deseado de resalte de los relieves.

- **Aplicaciones:** indicada para resaltar bordes, rayas y fisuras en una dirección determinada.
- **Ventajas:** resalta los relieves por pequeños que sean de los objetos, resultando una sombra muy definida.
- **Inconvenientes:** con ángulos pequeños respecto a la horizontal, la luz producirá sombras en todos los relieves y en el contorno de la pieza. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

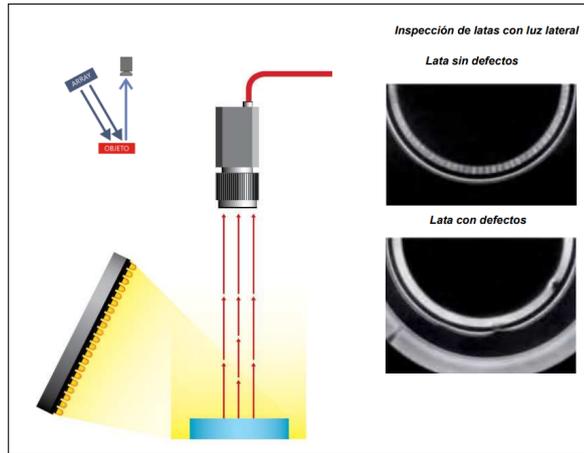


Ilustración 2-28: Iluminación lateral

Fuente: (Nogué, 2012)

2.16.3 Iluminación por campo oscuro (Dark field)

La luz es emitida lateralmente con un ángulo muy pequeño mediante un anillo en todas las direcciones, rebotando en los defectos del objeto a analizar e incidiendo en la cámara.

- **Aplicaciones:** indicada para resaltar incrustaciones y códigos alfanuméricos con poco contraste en metal sobre metal o gris sobre gris. Muy utilizada en la verificación de grabados tipo láser o troquel.
- **Ventajas:** destaca los detalles en superficies con muy poco contraste.
- **Inconvenientes:** no es recomendable en superficies que absorban la luz. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

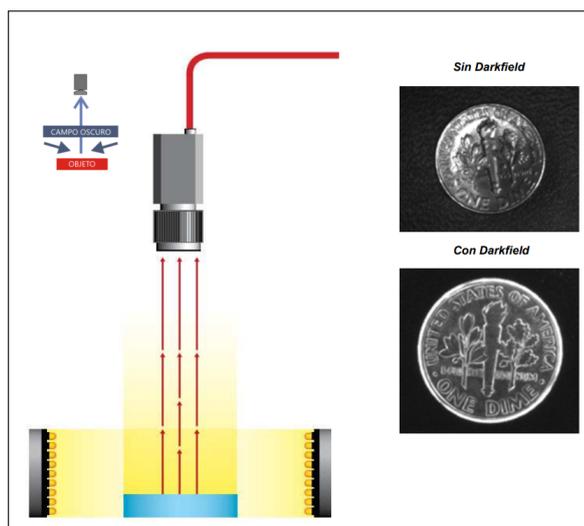


Ilustración 2-29: Iluminación por campo oscuro

Fuente: (Nogué, 2012)

2.16.4 Iluminación por contraste (*Backlight*)

La luz es emitida desde la parte posterior del objeto quedando este entre la fuente de iluminación y la cámara. La iluminación tiene que ser uniforme en toda la superficie del objeto. La cámara inspecciona la silueta del objeto por contraste pudiendo realizar mediciones muy precisas, ya que se eliminan por completo las sombras producidas por la iluminación como se evidencia en la Ilustración 2-30.

- **Aplicaciones:** indicada para la inspección de la silueta del objeto. Utilizada también en materiales translúcidos o transparentes para detectar manchas, rayas, grietas.
- **Ventajas:** permite inspecciones de siluetas con mediciones muy precisas y de impurezas en los objetos transparentes o translúcidos.
- **Inconvenientes:** no permite reconocer los detalles superficiales del objeto, códigos, inscripciones, etc. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

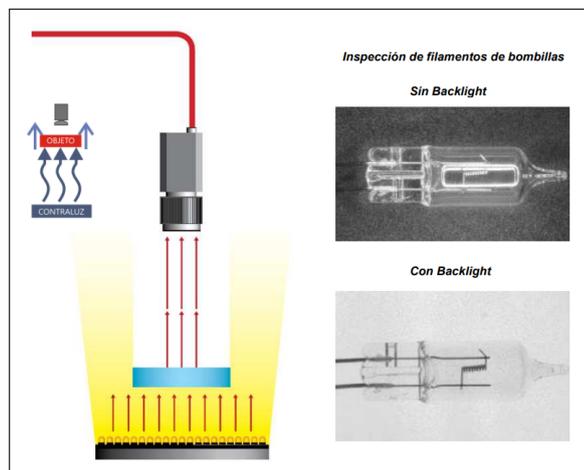


Ilustración 2-30: Iluminación por contraste

Fuente: (Nogué, 2012)

2.16.5 Iluminación axial difusa

La luz es emitida lateralmente siendo reflejada 90° por un espejo semitransparente que desvía los haces de luz en la misma dirección que el eje de la cámara, consiguiendo una luz difusa homogénea. En superficies planas reflectantes si no se utiliza este método de iluminación, la cámara vería reflejado su propio objetivo como se evidencia en la Ilustración 2-31.

- **Aplicaciones:** indicada para la inspección superficies planas reflectantes, como PCB, etiquetas reflectantes, inspección de impresión sobre aluminio o cavidades profundas.
- **Ventajas:** permite inspecciones de códigos en materiales altamente reflectantes.
- **Inconvenientes:** no permite reconocer relieves en el objeto. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

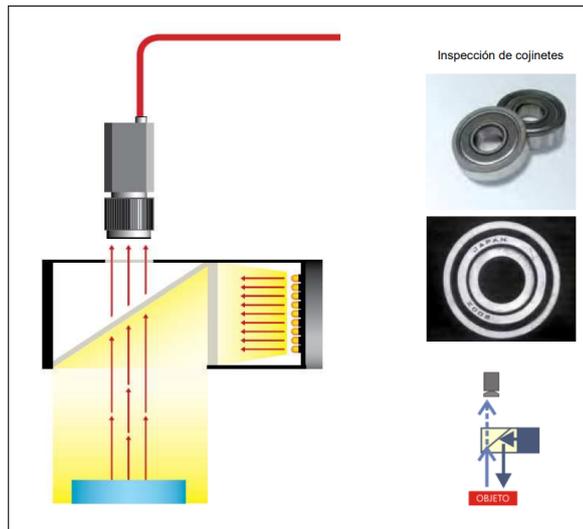


Ilustración 2-31: Iluminación axial difusa
Fuente: (Nogué, 2012)

2.16.6 Iluminación difusa tipo domo

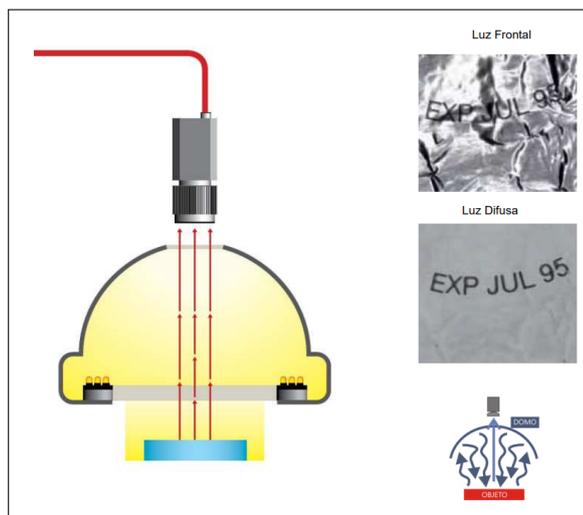


Ilustración 2-32: Iluminación difusa tipo domo
Fuente: (Nogué, 2012)

La luz es emitida dentro de una cúpula esférica resultando una luz difusa desde todas direcciones, eliminando sombras y reflejos, suavizando texturas y minimizando la influencia de rayas, polvo, relieves y curvaturas que pueda tener el objeto inspeccionado. A este tipo de iluminación también se le denomina iluminación de día nublado por no producir ningún tipo de sombra al objeto como se evidencia en la Ilustración 2-32.

- **Aplicaciones:** indicada para la inspección de superficies tales como instrumental médico, espejos, compact disk, latas, etc.
- **Ventajas:** eliminación de sombras y minimizador de arrugas, polvo y relieves.
- **Inconvenientes:** coste elevado. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

2.16.7 Iluminación por láser

La iluminación mediante láser o luz estructurada se utiliza normalmente para resaltar o determinar una tercera dimensión de un objeto como se evidencia en la Ilustración 2-33. Se trata de colocar la fuente de luz láser en un ángulo conocido con respecto al objeto a iluminar y a la cámara, de forma que viendo la distorsión de la luz pueda interpretarse la profundidad de los objetos a medir. También se utiliza para indicar el trazado por el que se debe ajustar un proceso, por ejemplo en aplicaciones de corte. Para realizar una inspección en 3D de un objeto, se proyecta una línea de luz. Las distorsiones en la línea se traducen en variaciones en la altura. De aquí se puede desprender una forma en 3D detectando la falta o exceso de material o llegar a hacer una reconstrucción en tres dimensiones del objeto.

- **Aplicaciones:** ajuste de procesos de corte, control de profundidad de objetos.
- **Ventajas:** no le influye la iluminación externa.
- **Inconvenientes:** coste elevado. Si se utilizan lentes cilíndricas para conseguir una línea o un patrón concreto, el láser no tiene la misma intensidad lumínica a lo largo del patrón. (Nogué, 2012, págs. 6-15)

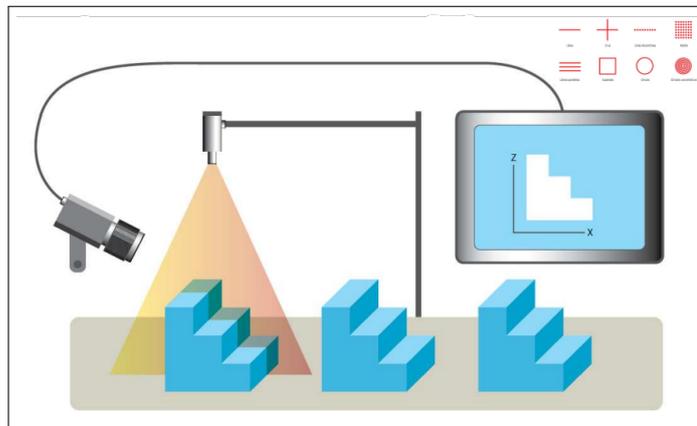


Ilustración 2-33: Iluminación por láser

Fuente: (Nogué, 2012)

2.17 Niveles de iluminación

Los niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares del DECRETO EJECUTIVO 2393: Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Registro oficial 565. Ecuador. Se detallan a continuación. (IESS, 1986, págs. 31-32)

- **20 luxes:** Pasillos, patios y lugares de paso.
- **50 luxes:** Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.

- **100 luxes:** Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores.
- **200 luxes:** Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.
- **300 luxes:** Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.
- **500 luxes:** Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.
- **1000 luxes:** Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería. (IESS, 1986, págs. 31-32)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se expone la metodología empleada en el desarrollo del proyecto de investigación. Se detallan las fases necesarias para la creación e implementación del sistema traductor de lengua de señas dactilológico a lenguaje natural escrito ecuatoriano. A su vez, se ofrece información detallada sobre los modelos, métodos y herramientas utilizados para la elaboración del proyecto.

3.1 Tipo de estudio

En esta investigación se diseñó y desarrolló un sistema traductor de lengua de señas dactilológico ecuatoriano a lenguaje natural escrito mediante visión artificial para personas no hablantes. Este sistema se implementó en un entorno experimental para comprobar si mejora la comunicación entre una persona con discapacidad auditiva y una hablante. Para ello, se analizaron las métricas de la matriz de confusión que se encuentran definidas en el capítulo II sección 2.10, en particular el porcentaje de aciertos, en función de la calidad de la luz, la cual se midió mediante la aplicación móvil "Lux Light Meter Pro".

3.2 Métodos de investigación

3.2.1 *Estudio de casos*

La investigación se fundamenta en la dificultad del aprendizaje de la lengua de señas ecuatoriana para una escritura correcta del español, evidenciada en la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo y a través de fuentes bibliográficas. Esta dificultad justifica la necesidad de implementar un sistema que facilite la interacción entre personas con discapacidad auditiva y hablantes. Se opta por el método de estudio de casos en este proyecto de investigación, debido a su capacidad para llevar a cabo un análisis exhaustivo y contextualizado del desempeño del sistema en un entorno auténtico, proporcionando así datos empíricos que respaldan su efectividad. Además, mediante la realización de encuestas, se logró obtener una perspectiva más amplia sobre los diversos casos presentes en la institución, considerando las variaciones en los niveles de discapacidad presentes en la población estudiantil.

3.2.2 *Cualitativo*

La Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo fue observada para comprender su situación real y los posibles apoyos tecnológicos a dar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la lengua de señas dactilológica ecuatoriana para la correcta escritura del español. A través de esta observación, se identificaron las condiciones actuales y las necesidades que la institución enfrenta. La elección de un método de investigación cualitativo se justifica porque complementa la evaluación técnica del sistema con una comprensión enriquecida del contexto humano en el que se

implementará, lo que es esencial para garantizar la relevancia, usabilidad y aceptación del sistema en la práctica.

3.2.3 Cuantitativo

La interpretación de la información obtenida permitirá conocer si la comunicación entre personas con discapacidad auditiva (no hablantes) y personas oyentes ha mejorado significativamente, evaluando los aspectos relevantes de esta comunicación. Un enfoque cuantitativo se justifica por la capacidad de recopilar datos numéricos y estadísticos objetivos (matriz de confusión), los cuales son fundamentales para evaluar la eficacia y el rendimiento técnico del sistema de traducción en cuestión. Además, por su capacidad para proporcionar datos objetivos y cuantificables que respalden la evaluación técnica del sistema de traducción y faciliten la toma de decisiones informadas en el proceso de diseño e implementación.

3.3 Técnicas

En esta investigación, se utilizó la técnica de investigación de campo, para analizar el comportamiento de las personas no hablantes que utilizaron el sistema. Para obtener datos del correcto funcionamiento del sistema a través del porcentaje de aciertos evidenciado en la pruebas realizadas, se utilizó la técnica de observación. La técnica de la encuesta permitirá obtener información complementaria y perspectivas adicionales sobre el uso y la percepción del sistema de traducción por parte de los docentes y estudiantes sordos, lo que enriquecería el análisis y contribuiría a una comprensión más completa de la efectividad y el impacto del proyecto de investigación.

3.4 Fuentes de información

Para conocer la información relevante relacionada con el tema de estudio, se realiza una revisión sistemática de una variedad de fuentes, incluyendo documentos, libros, revistas, artículos científicos, diccionario de lengua de señas ecuatoriano, tesis, y otras publicaciones. Estas fuentes son de sociedades científicas conocidas y confiables, para garantizar la calidad de la información obtenida. Además de docentes de lengua de señas ecuatoriano, intérpretes y lingüistas especializados de la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población es un grupo de 32 estudiantes matriculados en la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, en el periodo lectivo 2023-2024 como se presenta en la Tabla 3-1. Las edades de los participantes oscilan entre los 7 y 17 años.

Tabla 3-1: Estudiantes matriculados por nivel

NIVEL DE EDUCACIÓN BÁSICA	# ESTUDIANTES
2DO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	2
4TO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	1
5TO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	1
6TO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	1
7MO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	3
8VO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	3
9NO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	2
10MO AÑO DE EDUCACIÓN BÁSICA	4
1RO DE BACHILLERATO	4
2DO DE BACHILLERATO	7
3RO DE BACHILLERATO	4

Realizado por: Cusme M, 2024

3.5.2 Muestra

Se utilizó una muestra determinística a los 32 estudiantes de la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, considerando un nivel intermedio de conocimiento de la lengua de señas como criterio de inclusión. Se excluyeron del estudio aquellos estudiantes que presentaban otras discapacidades que podían interferir con su participación. La elección de una muestra determinística se justifica porque permite seleccionar participantes que cumplen con criterios específicos que son relevantes para los objetivos de la investigación, en este caso, el nivel de conocimiento de la lengua de señas. Al incluir solo a estudiantes con un nivel intermedio de conocimiento, se garantiza que la muestra represente adecuadamente el grupo objetivo para el cual se está diseñando el sistema de traducción, lo que aumenta la validez y la relevancia de los resultados obtenidos.

3.6 Procesamiento y análisis

El sistema de traducción de lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano a lenguaje natural escrito para personas no hablantes mediante visión artificial consta de dos fases:

3.6.1 Fase de entrenamiento

Se crea una base de datos que contiene los puntos de referencia de las manos (21 puntos) con relación al lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano. A cada letra le corresponde su respectiva etiqueta, esto implica que voy a tener 27 etiquetas incluido el espacio. El alfabeto ecuatoriano presenta 30 letras de las cuales 25 son letras estáticas y 5 letras son con movimiento. El caso de las letras: J, LL, Ñ y RR tienen el gesto similar en el mismo orden a la I, L, N, R. Razón por la cual se justifica el uso de las 27 etiquetas. Esta base de datos se utiliza para entrenar al sistema para que pueda reconocer las letras del lenguaje de señas ecuatoriano, cuyo diagrama de flujo se presenta en

la Ilustración como se evidencia en la Ilustración 3-1.

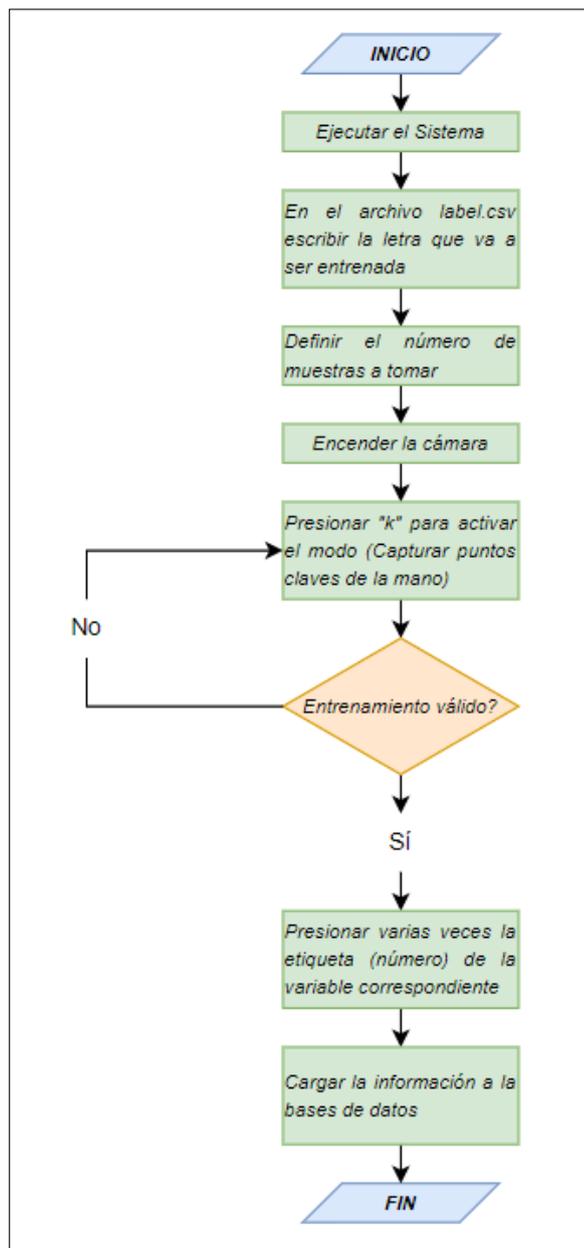


Ilustración 3-1: Proceso de entrenamiento
Realizado por: Cusme M, 2024

3.6.2 Fase de ejecución

El sistema captura la imagen en tiempo real de la mano del usuario y, mediante algoritmos implementados, compara la imagen con los datos de la base de datos. Si la imagen coincide con una de las letras de la base de datos, el sistema determina la letra correspondiente al lenguaje de señas ecuatoriano. El diagrama de flujo del proceso del sistema traductor se presenta en la Ilustración 3-2 como se evidencia en la Ilustración 3-2.

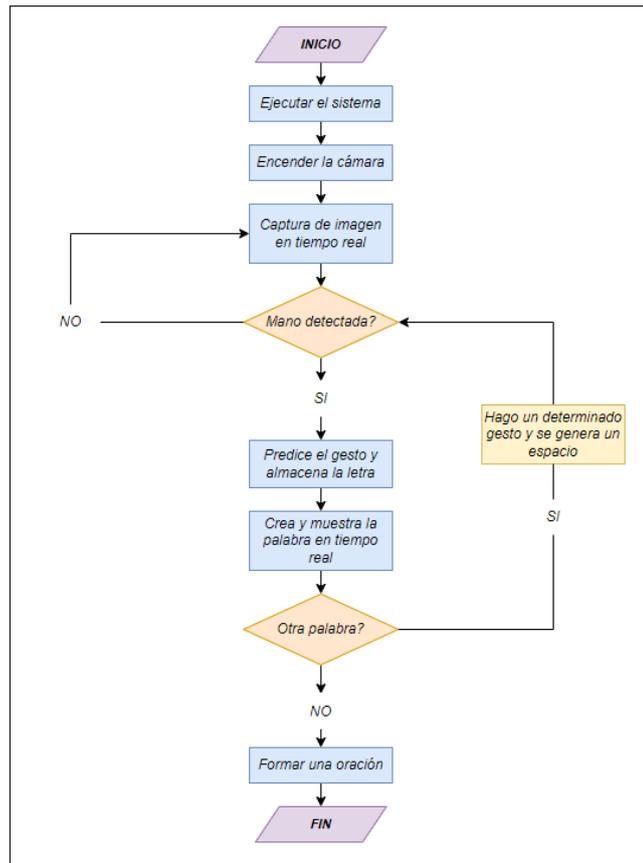


Ilustración 3-2: Proceso del Sistema Traductor
 Realizado por: Cusme M, 2024

3.6.3 Obtención de la información

Para entrenar la red neuronal, es necesario recopilar datos de entrenamiento. Estos datos se recopilan utilizando Mediapipe Hands, una potente herramienta que permite detectar 21 puntos de referencia de la mano, identificar la mano izquierda o derecha y las palmas y los dedos de la mano como se muestra en la Ilustración como se evidencia en la Ilustración 3-3. Mediapipe Hands emplea Machine Learning, lo que significa que utiliza varios modelos que trabajan juntos.

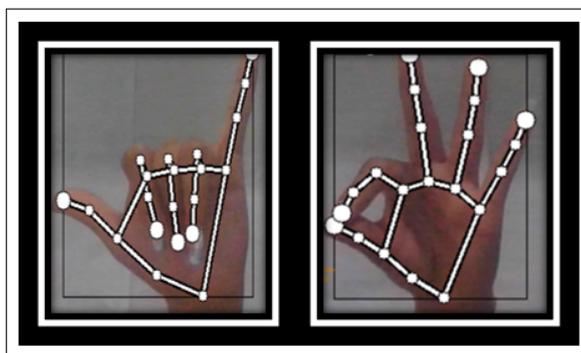


Ilustración 3-3: Mediapipe Hands
 Realizado por: Cusme M, 2024

3.6.3.1 *Modelo de detección de palma*

El modelo de detección de manos utiliza la imagen de entrada para identificar la palma de la mano. Una vez que la identifica, la enmarca en un cuadro como se muestra en la Ilustración como se evidencia en la Ilustración 3-4. Este modelo es robusto y adaptable, lo que le permite detectar manos de cualquier tamaño, incluso si están parcialmente ocultas.

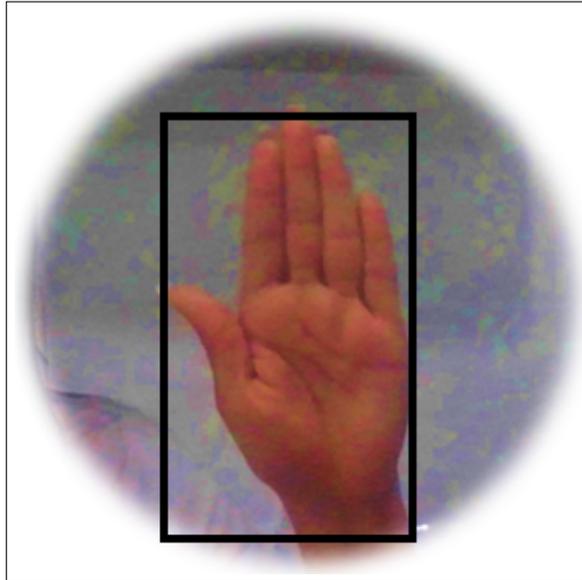


Ilustración 3-4: Modelo de detección de palma

Realizado por: Cusme M, 2024

El modelo de detección de palma se integra en este sistema traductor de lengua de señas dactilológico para mejorar la precisión, la eficiencia y la robustez del proceso. La detección precisa de la palma mejora la identificación de las señas, lo que a su vez aumenta la precisión de la traducción. Además, al enfocarse en la región de la palma, el sistema reduce el tiempo y la complejidad del proceso, agilizando el reconocimiento de las señas y la generación del texto. Finalmente, la detección de la palma es menos susceptible a las variaciones en la iluminación, el fondo y la posición de la mano, lo que la hace más robusta y confiable en diferentes condiciones.

3.6.3.2 *Modelo de referencia de la mano*

Una vez que la mano ha sido localizada, la imagen se somete a un proceso de identificación de los 21 puntos de la mano, cada uno con su respectiva etiqueta, según se indica en la Tabla 3-2. Este proceso permite que la imagen se analice y se identifiquen los puntos de la mano con precisión.

Las coordenadas de los puntos de la mano son muy pequeñas y deben ser normalizadas para su uso en el entrenamiento de la red neuronal. La normalización se realiza multiplicando las coordenadas X e Y por el ancho y el alto de la imagen, respectivamente. La coordenada Z representa la profundidad de la mano. Para distinguir cada letra, se utilizan identificadores al inicio de cada coordenada.

Tabla 3-2: Etiquetas de cada letra

Etiqueta	Letra	Etiqueta	Letra
0	A	13	N,Ñ
1	B	14	O
2	C	15	P
3	CH	16	Q
4	D	17	R,RR
5	E	18	S
6	F	19	T
7	G	20	U
8	H	21	V
9	I,J	22	W
10	K	23	X
11	L,LL	24	Y
12	M	25	Z

Realizado por: Cusme M, 2024

Mediapipe Hands utiliza un enfoque de detección y seguimiento continuo para la detección de manos, lo que permite procesar los fotogramas de forma más eficiente. Esto se debe a que la mano no tiene que ser detectada nuevamente en cada fotograma.

3.7 Entrenamiento de una red neuronal

Las redes neuronales, estructuras compuestas por capas de unidades llamadas neuronas, emulan el funcionamiento del cerebro humano para procesar información. Estas redes reciben datos, los clasifican y generan un modelo predictivo que puede aplicarse a nuevos datos. Cada neurona posee un "peso" individual que, al multiplicarse por los valores de entrada, determina la influencia de cada dato en la salida de la red. Ajustando estos pesos y el "sesgo", la red neuronal aprende y mejora su capacidad de análisis.

3.8 Función de activación RELU

Unidad rectificadora uniforme (RELU), mediante esta función de activación consideramos solo los valores positivos para la salida, es la más usada pues tiene un menor costo computacional que otras funciones de activación. La función de activación se presenta en la Ilustración 3-5. (Sierra, 2022, págs. 8-11)

- Se utiliza en casi todas las redes neuronales convolucionales o de aprendizaje profundo.
- ReLU está medio rectificado (desde abajo).
- $f(z)$ es cero cuando z es menor que cero y $f(z)$ es igual a z cuando z es superior o igual a cero.

- Es una función usada en las capas ocultas de nuestra red neuronal, no en las de salida. (Martín, 2022)

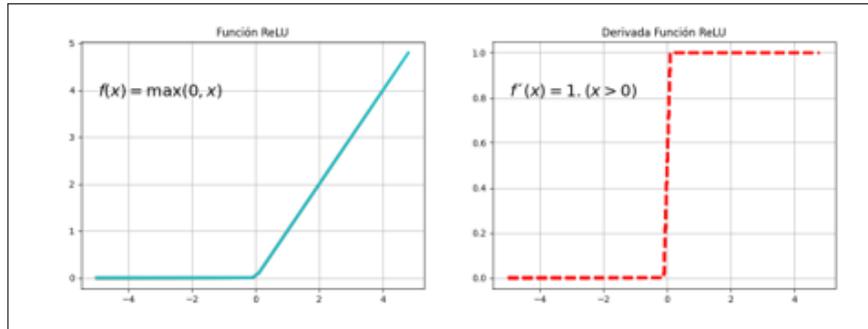


Ilustración 3-5: Función RELU

Fuente: (Martín, 2022)

Se justifica el uso de la función RELU ya que es ideal para un sistema traductor de lengua de señas por ser eficiente, precisa, adaptable, robusta y fácil de depurar. Estas características se traducen en un procesamiento rápido, aprendizaje preciso, generalización a nuevas señas, captura de sutilezas gestuales y optimización del entrenamiento. Además, RELU simplifica el modelo y facilita la detección de errores. En conjunto, RELU se perfila como una herramienta poderosa para el desarrollo de sistemas traductores de lenguaje de señas confiables y de alto rendimiento.

3.9 Función de activación SOFTMAX

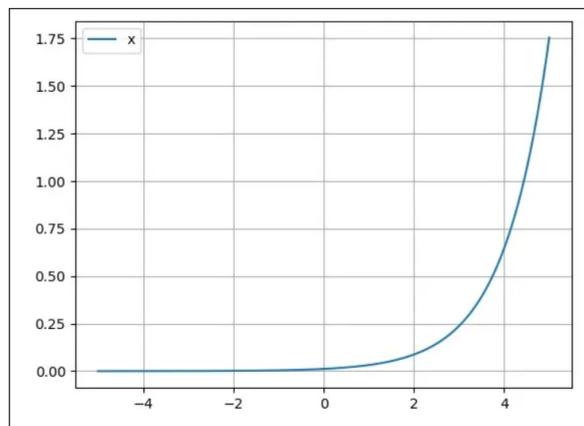


Ilustración 3-6: Función SOFTMAX

Fuente: (Franco, 2024)

La función Softmax nos permite expresar las entradas como una distribución de probabilidad discreta como se presenta en la Ilustración 3-6. Intuitivamente, esto se puede definir de la siguiente manera: para cada valor (es decir, entrada) en nuestro vector de entrada, el valor de Softmax es el exponente de la entrada individual dividido por una suma de los exponentes de todas las entradas. Esto asegura que sucedan múltiples cosas:

- Las entradas negativas se convertirán en valores no negativos gracias a la función exponencial.

- Cada entrada estará en el intervalo (0, 1).
- Como el denominador en cada cálculo de Softmax es el mismo, los valores se vuelven proporcionales entre sí, lo que garantiza que juntos sumen 1. (Franco, 2024)

La función Softmax se perfila como la herramienta ideal para la capa final de un sistema traductor de lenguaje de señas dactilológico por sus múltiples beneficios. En primer lugar, convierte las salidas de la red neuronal en probabilidades, brindando una interpretación clara de los resultados como la probabilidad de que una secuencia de señas represente una palabra o frase específica. A su vez, Softmax normaliza las salidas, facilitando la comparación entre diferentes clases de señas.

Sumado a esto, la función facilita el entrenamiento de la red neuronal mediante un gradiente suave y permite una interpretación probabilística de las predicciones, lo que resulta útil para la toma de decisiones y el análisis de errores. En conjunto, estas características se traducen en una traducción precisa, eficiente y con una interpretación clara de los resultados, convirtiendo a Softmax en una herramienta fundamental para el desarrollo de sistemas traductores de lenguaje de señas confiables y de alto rendimiento.

3.10 Arquitectura de la red neuronal propuesta

Las redes neuronales se componen de tres capas principales: una capa de entrada, una o varias capas ocultas y una capa de salida como se presenta en la Ilustración 3-7. La capa de entrada recibe la información del mundo exterior, las capas ocultas procesan la información y la capa de salida genera el resultado. La red neuronal implementada en este trabajo tiene la siguiente estructura:

- Una capa de entrada de $21 * 2$ neuronas, donde 21 representa el número de puntos de referencia de la mano y 2 representa las coordenadas X e Y de cada punto.
- Dos capas ocultas, la primera con 20 neuronas y la segunda con 10 neuronas. Cada capa oculta utiliza la función de activación RELU para realizar sus operaciones matemáticas.
- Una capa de salida con 27 neuronas, una por cada gesto de la lengua de señas, incluido el gesto de espacio. La capa de salida utiliza la función de activación Softmax.

```

model = tf.keras.models.Sequential([
    tf.keras.layers.Input((21 * 2, )),
    tf.keras.layers.Dropout(0.2),
    tf.keras.layers.Dense(20, activation='relu'),
    tf.keras.layers.Dropout(0.4),
    tf.keras.layers.Dense(10, activation='relu'),
    tf.keras.layers.Dense(NUM_CLASSES, activation='softmax')
])

```

Ilustración 3-7: Arquitectura de la red neuronal propuesta

Realizado por: Cusme M, 2024

3.11 Arquitectura ResNet

La arquitectura ResNet aborda estos desafíos utilizando conexiones residuales que permiten la propagación directa del gradiente a través de las capas de la red. Estas conexiones residuales se introducen mediante la adición de una conexión directa que salta una o más capas. Esta conexión agrega los valores de activación de una capa anterior a la activación de una capa posterior. Esto permite que el gradiente se propague sin restricciones a través de la conexión residual, evitando así el desvanecimiento y la explosión del gradiente. El gradiente es una medida de cómo cambia la función de pérdida a medida que cambian los parámetros de la red.

La clave de la arquitectura ResNet es la identidad residual, que es la función que representa la conexión residual. La identidad residual se define como la suma de la entrada de la capa y la salida de la capa. Al agregar la identidad residual, se garantiza que la capa pueda aprender cambios en la función identidad, lo que permite a la red adaptarse mejor a los datos de entrada.

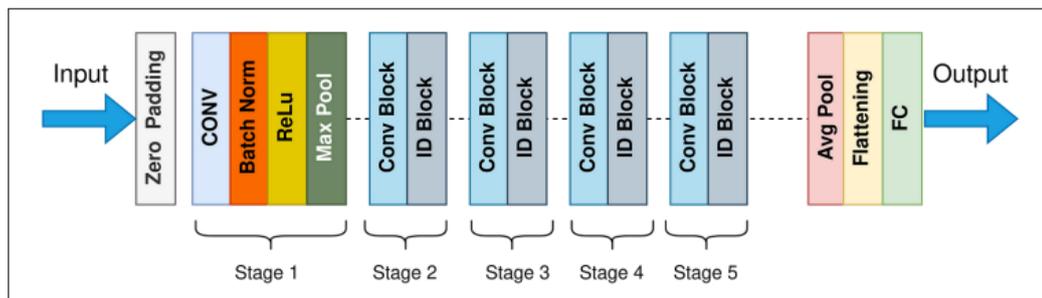


Ilustración 3-8: Arquitectura ResNet

Fuente: (Tomás, 2023)

La arquitectura ResNet se caracteriza por su profundidad, llegando a tener más de 100 capas en algunas variantes. Sin embargo, a pesar de su profundidad, las redes ResNet son más fáciles de entrenar y logran un rendimiento superior en comparación con las redes más simples y menos profundas. Esto se debe a que las conexiones residuales facilitan la propagación del gradiente y mejoran la capacidad de aprendizaje de la red. La Ilustración 3-8 representa la arquitectura del modelo ResNet50. (Tomás, 2023, págs. 22-24)

3.11.1 Ventajas de ResNet

ResNet se distingue de otras arquitecturas de clasificación de imágenes por varias razones:

- **Profundidad extrema:** ResNet permitió entrenar redes neuronales convolucionales extremadamente profundas, superando el límite tradicional de la profundidad. Esto llevó a un mejor rendimiento y una mayor capacidad de aprendizaje del modelo.
- **Conexiones residuales:** Las conexiones residuales permiten que el gradiente se propague sin restricciones a través de la red, evitando el problema del decaimiento del gradiente. Esto facilita el entrenamiento de redes muy profundas y ayuda a evitar problemas como el sobreajuste.

- **Mejor rendimiento:** ResNet ha demostrado un rendimiento superior en comparación con otras arquitecturas en varias competencias de clasificación de imágenes, como el desafío ImageNet. Su capacidad para aprender características más discriminativas y su capacidad de adaptación a conjuntos de datos más desafiantes lo han convertido en una opción popular en aplicaciones de visión por computadora.
- **Transferencia de aprendizaje:** Debido a su estructura profunda y conexiones residuales, ResNet es especialmente adecuada para la transferencia de aprendizaje. Los modelos pre-entrenados en conjuntos de datos grandes, como ImageNet, pueden adaptarse a tareas específicas con una cantidad relativamente pequeña de datos de entrenamiento. (Tomás, 2023, págs. 22-24)

3.12 Algoritmo de aprendizaje Backpropagation

Para que una red neuronal aprenda a partir de los datos de entrada y sea capaz de predecir cierta información es necesario entrenarla, para ello se debe ir cambiando el peso de las neuronas de acuerdo a los resultados que se vayan obteniendo. Por medio de este algoritmo se hace una comparación entre la salida de la red con los datos de entrenamiento de la red, y según el error obtenido se modifican los pesos de cada neurona en función de cuanto influye cada neurona para el resultado final. Este proceso es llevado a cabo capa por capa de manera que agiliza el trabajo y permite crear un modelo con resultados precisos. (Ortega, 2015, págs. 19-20)

Backpropagation no solo es un algoritmo, es la fuerza que impulsa este sistema traductor de lengua de señas. Su precisión, eficiencia, robustez, escalabilidad, flexibilidad y compatibilidad lo convierten en una herramienta fundamental para la traducción precisa y en tiempo real de las señas. Además, Backpropagation permite un aprendizaje continuo, facilita la interpretabilidad del proceso de traducción y la generalización del conocimiento a nuevas situaciones. En definitiva, Backpropagation abre nuevas posibilidades para la comunicación e inclusión de las personas sordas.

3.13 Aplicación Lux Light Meter Pro

Light Meter es un medidor de intensidad de luz funcional (lux) fácil de usar, perfecto para medir, comparar y ajustar los niveles de iluminación en su entorno, ya sea en el trabajo o en el hogar. Su logo se presenta en la Ilustración 3-9.

Usando múltiples entradas de sensor de dispositivo, esta pequeña y conveniente aplicación recoge datos de intensidad de luz con solo hacer clic en un botón. Es indispensable a la hora de usar una cámara manual o de rollo, sin necesidad de usar equipos que pueden costar cientos de dólares. Ideal para configurar los ajustes de luz del invernadero, evitar la tensión del ojo inducida por la iluminación del lugar de trabajo o verificar si su escritorio o estación de artesanía necesita un poco más de luz.

Características:

- Mediciones en tiempo real.
- Medición de una sola vez.
- Valores Promedio y Máximo.
- Cámara delantera y trasera.
- Mediciones de velas Lux y Foot. (Polyanskaya, 2021)

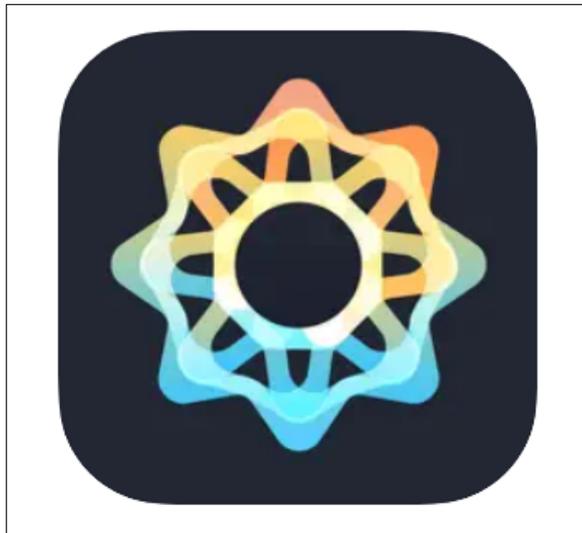


Ilustración 3-9: Lux Light meter Pro

Fuente: (Polianskaya, 2021)

3.14 Jupyter notebook

Son aplicaciones web ejecutadas localmente, contienen código en tiempo real, ecuaciones, figuras y aplicaciones interactivas. Es una de las herramientas más importantes para datos científicos que usa Python, los datos pueden ser cargados, transformados y modelados todo dentro de la notebook, la cual es rápida y fácil para probar código y explorar ideas a lo largo del camino.

Jupyter Notebook tiene 3 tipos de celdas: celdas de código, celdas de markdown y celdas sin procesar. Cada celda comienza siendo una celda de código, pero su tipo se puede cambiar usando un menú desplegable en la barra de herramientas. Las celdas de markdown son una combinación de texto con código ejecutable, es un lenguaje simple usado para estilizar texto en la web, este formato es útil para texto básico, comúnmente se utilizan símbolos como hashtag (#) para poner texto dentro de la cabecera, corchetes o paréntesis para insertar hipervínculos y asteriscos para dar formato al texto. (Galea, 2018)

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis y evaluación del Sistema de Traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito. Se examinan las métricas de la matriz de confusión, tales como exactitud, precisión, sensibilidad y F1-Score para evaluar el rendimiento del sistema. Adicionalmente, se analiza la importancia de la iluminación adecuada para el correcto funcionamiento del proyecto. Se incluyen los resultados de una encuesta y pruebas de funcionamiento realizadas con la aplicación Lux Light meter Pro, con el fin de determinar la influencia de la iluminación en la precisión del sistema.

4.1 Resultados

4.1.1 *Análisis de los resultados obtenidos en la matriz de confusión*

Para evaluar el rendimiento de la red neuronal, se emplea la matriz de confusión, una herramienta fundamental en el aprendizaje supervisado. Si bien no existen rangos universales para la matriz de confusión, su interpretación depende del contexto y del problema específico. Algunas reglas generales para evaluar su desempeño son: precisión, exactitud, sensibilidad y F1-Score. Todas estas métricas fueron abordadas y definidas en el Capítulo II, sección 2.11.

En el caso de este proyecto de investigación, donde se diseña un sistema traductor de lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano a lenguaje natural escrito, la matriz de confusión juega un papel crucial para evaluar el rendimiento del modelo. El alfabeto ecuatoriano, compuesto por 30 letras, presenta un escenario particular al analizar la precisión de la traducción.

Debido a la naturaleza del problema y las características del alfabeto ecuatoriano, se proponen los siguientes rangos para la matriz de confusión mínimo aceptable:

- Precisión: >90%
- Exactitud: >85%
- Sensibilidad (Recall): >85%
- F1-Score: >85%

Justificación

- **Precisión:** Un alto nivel de precisión es crucial para garantizar que las traducciones sean confiables y precisas. Un valor superior al 90% indica que el modelo identifica correctamente la mayoría de las letras del alfabeto dactilológico ecuatoriano.

- **Exactitud:** La exactitud general del sistema es un indicador importante de su utilidad. Un valor superior al 85 % refleja un buen rendimiento en la traducción de frases completas.
- **Sensibilidad (Recall):** Es fundamental que el modelo capture la mayoría de las letras para una traducción completa y precisa. Un valor superior al 85 % en la sensibilidad asegura que se minimice la omisión de letras.
- **F1-Score:** El F1-Score ofrece un equilibrio entre la precisión y la sensibilidad, brindando una evaluación integral del modelo. Un valor superior al 85 % indica un buen balance entre ambas medidas, asegurando un alto nivel de rendimiento general.

Es importante analizar estas métricas por cada clase (en este caso, 27 clases para las letras del alfabeto dactilológico ecuatoriano). La matriz de confusión trabaja en un rango de 0 a 1, donde 0 representa un entrenamiento nulo y 1 un entrenamiento perfecto. Los resultados de los entrenamientos realizados para cada letra se presentan en el Anexo A.

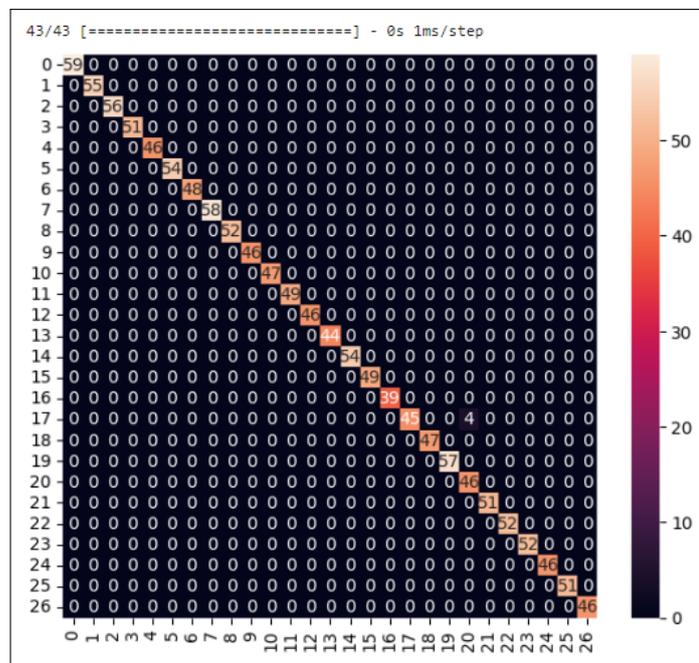


Ilustración 4-1: Matriz de confusión del Sistema Traductor
 Realizado por: Cusme M, 2024

La Ilustración 4-1 representa la matriz de confusión de todo el Sistema Traductor. La matriz de confusión proporcionada ofrece una visión completa del rendimiento del sistema traductor de lengua de señas dactilológico ecuatoriano. El sistema traductor comprende 27 clases, donde 26 clases representan las letras estáticas del alfabeto dactilológico ecuatoriano y la clase 27 el gesto de espacio. Si bien el alfabeto oficial ecuatoriano tiene 30 letras, solo se consideran 26 clases debido a la existencia de letras con el mismo gesto pero que se diferencian por el movimiento. Específicamente, las letras J (gesto similar a la I), LL (gesto similar a la L), Ñ (gesto similar a la N) y RR (gesto similar a la R) se consideran como clases independientes por su componente dinámico.

Las columnas de la matriz de confusión de la Ilustración 4-1 representan las predicciones realizadas

por el sistema traductor. Cada columna corresponde a una clase específica (una letra del alfabeto dactilológico ecuatoriano o el gesto de espacio). En este caso como se presenta en la ilustración se tiene un 100% de predicciones lo que implica que no hubo confusiones de una letra con otra.

Las filas de la matriz de confusión representan las clases reales presentes en la entrada del sistema traductor. Cada fila corresponde a una clase específica, al igual que las columnas. Como resultado se ha obtenido las filas con valor cero en la matriz de confusión indican que no hubo errores de clasificación para la clase específica representada por esa fila. En otras palabras, el sistema traductor clasificó correctamente todas las instancias que pertenecían a esa clase. La ausencia de errores de clasificación puede traducirse en una mayor eficiencia del sistema, ya que no se necesita invertir tiempo y recursos en corregir errores para esas clases.

Valores diagonales representan las predicciones correctas. Un valor alto en la diagonal indica que el Sistema Traductor está clasificando correctamente la mayoría de las instancias. En este proyecto como resultado se obtuvieron valores de 39 a 58, estos valores indican que el sistema está clasificando correctamente las instancias para cada clase. Si bien esto representa un muy buen rendimiento general. Valores fuera de la diagonal representan las predicciones incorrectas. Un valor alto en una celda fuera de la diagonal indica que el sistema está confundiendo dos clases específicas, pero en el entrenamiento realizado no se presentaron dicho cachos.

La Ilustración 4-2 representa el reporte de entrenamiento del Sistema Traductor en general. Para el caso de la letra R que le corresponde la etiqueta 17, se presenta precisión con un valor de 1.00 indica que el sistema traductor clasifica correctamente el 100% de las letras R que se le presentan. Recall de 0.92 indica que el sistema traductor identifica correctamente el 92% de las letras R que hay en el conjunto de datos, en otras palabras, el 8% de las letras R no fueron identificadas correctamente por el sistema. F1-Score de 0.96 indica que el sistema tiene un equilibrio muy bueno entre la precisión y el recall para la letra R.

El análisis de los resultados obtenidos en la Ilustración 4-2 del Sistema Traductor se presenta a continuación:

- La precisión general (accuracy) del sistema traductor es del 100%, lo que indica que clasifica correctamente todas las letras del alfabeto dactilológico ecuatoriano. Este resultado es excepcional y demuestra que el sistema tiene un rendimiento perfecto en la clasificación de las letras incluido el espacio.
- El macro promedio de la precisión, el recall y el F1-Score es de 1.00 para todas las letras. Esto significa que el sistema tiene un rendimiento perfecto en promedio para todas las letras, sin importar las diferencias individuales entre ellas.
- El promedio ponderado de la precisión, el recall y el F1-Score también es de 1.00. Esto indica que el sistema tiene un rendimiento perfecto en general, teniendo en cuenta la frecuencia de cada letra en el conjunto de datos.

Classification Report				
	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	1.00	1.00	59
1	1.00	1.00	1.00	55
2	1.00	1.00	1.00	56
3	1.00	1.00	1.00	51
4	1.00	1.00	1.00	46
5	1.00	1.00	1.00	54
6	1.00	1.00	1.00	48
7	1.00	1.00	1.00	58
8	1.00	1.00	1.00	52
9	1.00	1.00	1.00	46
10	1.00	1.00	1.00	47
11	1.00	1.00	1.00	49
12	1.00	1.00	1.00	46
13	1.00	1.00	1.00	44
14	1.00	1.00	1.00	54
15	1.00	1.00	1.00	49
16	1.00	1.00	1.00	39
17	1.00	0.92	0.96	49
18	1.00	1.00	1.00	47
19	1.00	1.00	1.00	57
20	0.92	1.00	0.96	46
21	1.00	1.00	1.00	51
22	1.00	1.00	1.00	52
23	1.00	1.00	1.00	52
24	1.00	1.00	1.00	46
25	1.00	1.00	1.00	51
26	1.00	1.00	1.00	46
accuracy			1.00	1350
macro avg	1.00	1.00	1.00	1350
weighted avg	1.00	1.00	1.00	1350

Ilustración 4-2: Reporte general del Sistema Traductor

Realizado por: Cusme M, 2024

Estos resultados son muy positivos y demuestran la superioridad del sistema traductor en comparación con otros sistemas.

4.1.2 *Análisis de los resultados obtenidos en la aplicación Lux Light Meter Pro*

La iluminación juega un papel fundamental en la calidad de las imágenes capturadas por el sistema traductor. Una iluminación deficiente puede afectar negativamente el rendimiento del sistema traductor, dificultando la identificación del alfabeto dactilográfico.

La aplicación Lux Light Meter Pro permite medir la intensidad de la luz en el entorno donde se utilizará el sistema traductor, proporciona mediciones precisas de la intensidad de la luz en lux, lo que permite determinar si la iluminación es adecuada para el sistema propuesto. Además puede ayudar a identificar áreas con poca luz o con exceso de luz, que pueden afectar negativamente el rendimiento del sistema.

La Ilustración 4-3 muestra la intensidad lumínica en lux para tres escenarios (mañana, tarde y noche) dentro de un ambiente interior. El objetivo de esta medición es evaluar el rendimiento del Sistema Traductor mediante el número de aciertos en la detección del alfabeto ecuatoriano dactilográfico, incluyendo el espacio. Cabe mencionar que los tres escenarios fueron en el mismo ambiente pero en diferentes jornadas del día.

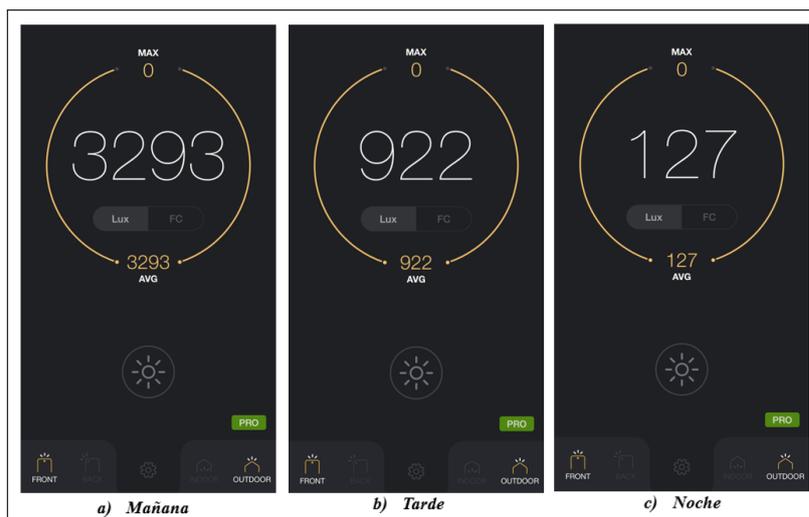


Ilustración 4-3: Intensidad de la luz en luxes

Realizado por: Cusme M, 2024

Primer escenario:

- La medición se realizó en jornada matutina. La aplicación Lux Light Meter Pro registró una intensidad de luz de 3293 luxes (sección a) de la Ilustración 4-3).
- La detección precisa de las 30 letras del alfabeto sin errores, incluido el espacio, evidencia la eficacia del sistema traductor en condiciones de iluminación adecuadas.
- Porcentaje de aciertos del 100 %. La medición de 3293 luxes se encuentra dentro del rango recomendado para trabajos que exigen una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles (Decreto Ejecutivo 2393 del Ecuador, Capítulo II, sección 2.17).

Segundo escenario:

- La medición se realizó en jornada vespertino. La aplicación Lux Light Meter Pro registró una intensidad de luz de 922 luxes (sección b) de la Ilustración 4-3).
- La medición de 922 luxes y la detección de 28 de las 30 letras del alfabeto dactilográfico con un error en 2 letras (J, Ñ), indican que la intensidad de luz es un factor importante para la precisión del sistema traductor. Esta baja intensidad de luz podría haber dificultado la detección precisa de las 2 letras mencionadas anteriormente por parte del sistema traductor.
- Porcentaje de aciertos del 94 %. La baja intensidad de luz de 922 luxes no se encuentra dentro del rango recomendado para trabajos que exigen una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles. Por tal motivo la precisión del sistema traductor puede verse afectada por la iluminación del entorno.

Tercer escenario:

- La medición se realizó en jornada nocturna.
- La aplicación Lux Light Meter Pro registró una intensidad de luz de 127 luxes (sección c) de la Ilustración 4-3).
- La medición de 127 luxes se encuentra muy por debajo del rango recomendado, de 30 letras del alfabeto ecuatoriano detectó y reconoció 26 letras, lo que implica que 4 letras no fueron detectadas las cuales son: (J, Ñ, N, RR). Esta baja intensidad de luz nocturna es insuficiente para la detección precisa de las 30 letras del alfabeto dactilográfico, la oscuridad del ambiente dificulta la distinción de las formas y movimientos de las manos, lo que afecta el rendimiento del sistema.
- Porcentaje de aciertos 88 %.
- La baja intensidad de luz de 127 luxes no se encuentra dentro del rango recomendado para trabajos que exigen una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles. Por lo cual es esperable que la precisión del sistema traductor disminuya considerablemente en ambientes nocturnos con poca luz.

La intensidad de luz es un factor crucial para el rendimiento de un sistema de traducción con visión artificial para el alfabeto ecuatoriano. Se ha demostrado que el sistema funciona de manera óptima con una precisión del 100 % en condiciones de alta luminosidad (3293 lux). Sin embargo, su precisión disminuye significativamente a medida que la luminosidad ambiental desciende, alcanzando un 94 % a 922 lux y un 88 % a 127 lux. Estos resultados sugieren la necesidad de considerar cuidadosamente la iluminación ambiental al usar el sistema traductor propuesto, para garantizar una traducción precisa y eficiente del alfabeto dactilográfico ecuatoriano.

4.2 Análisis de las encuestas

Luego de aplicar los instrumentos de recolección de datos, se realizó el procesamiento y análisis de la información de forma ordenada. Se tabularon las encuestas a docentes y estudiantes de la Unidad Especializada Sordos de Chimborazo, y se calcularon porcentajes estadísticos para facilitar la comprensión de los resultados. Estos resultados reflejan la realidad actual de la institución y servirán de base para la toma de decisiones que mejoren su situación. Cabe destacar que también se realizó una entrevista al director de la institución para obtener información adicional y complementar la investigación, la cual permitirá formular una propuesta de solución. Las preguntas de la encuesta se encuentran en el Anexo B.

4.2.1 Interpretación de los resultados

Tras el procesamiento de la información de las encuestas aplicadas a estudiantes y docentes de la Unidad Especializada Sordos de Chimborazo, se presentan los siguientes resultados:

Pregunta 1

Tabla 4-1: ¿En qué rango de edad te encuentras?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
7-17 años	2	50
28-25 años	0	0
26-35 años	0	0
36-45 años	0	0
Mayor a 45 años	2	50

Realizado por: Cusme M, 2024

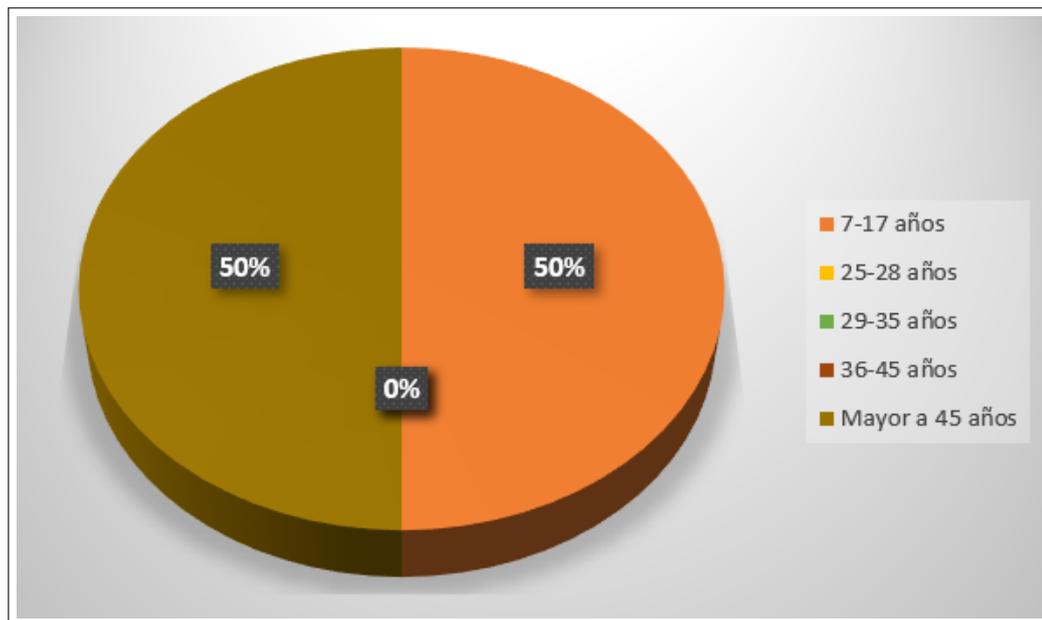


Ilustración 4-4: Representación porcentual de la pregunta 1

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La distribución por edad de los participantes en la encuesta reveló dos grupos predominantes: 50% de jóvenes estudiantes entre 7 y 17 años, de la Unidad Especializada Sordos de Chimborazo, y 50% de docentes mayores de 45 años como se evidencia en la Ilustración 4-4. No se registraron respuestas de personas entre 25 y 44 años.

Pregunta 2

Tabla 4-2: ¿Cuál es tu nivel de dominio de la lengua de señas ecuatoriana?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Básico	0	0
Intermedio	2	50
Avanzado	2	50
Nulo	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

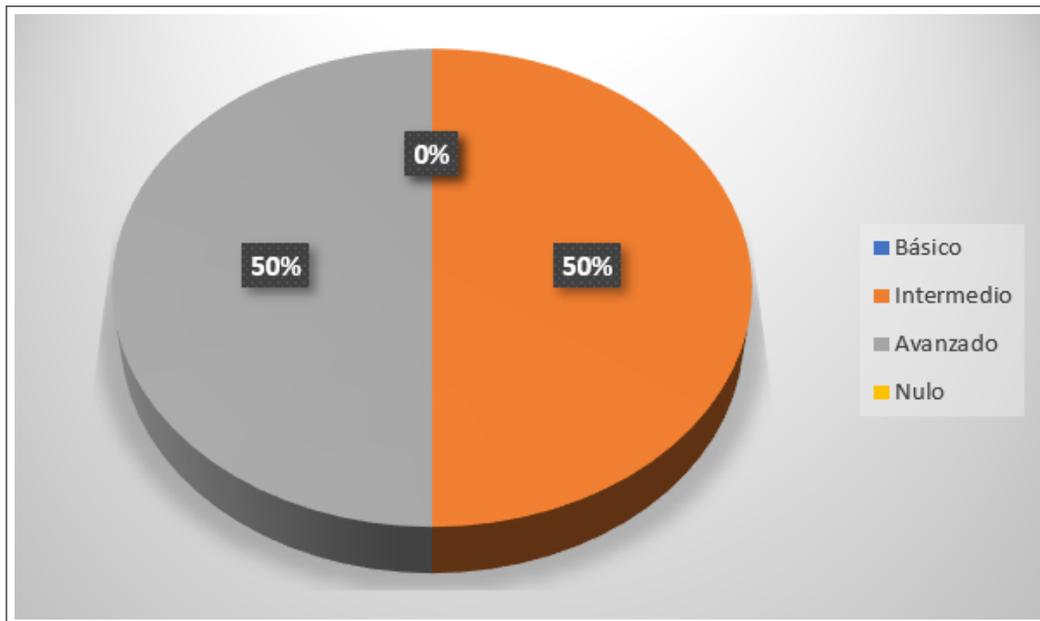


Ilustración 4-5: Representación porcentual de la pregunta 2

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La totalidad de los participantes (4 de 4) posee dominio de la LSE, ya sea a nivel intermedio (2 de 4) o avanzado (2 de 4) como se presenta en la Ilustración 4-5. No se registraron respuestas de personas con dominio básico o nulo de la LSE. Esta información indica que los encuestados poseen un buen nivel de competencia en el lenguaje de señas, lo que es un indicador de su uso regular por parte de este grupo.

Pregunta 3

Tabla 4-3: ¿En qué situaciones te has encontrado con dificultades de comunicación debido a tu discapacidad auditiva?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
En el ámbito educativo	0	0
En el ámbito laboral	1	25
En el ámbito social	2	50
En el ámbito médico	1	25
No aplica	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

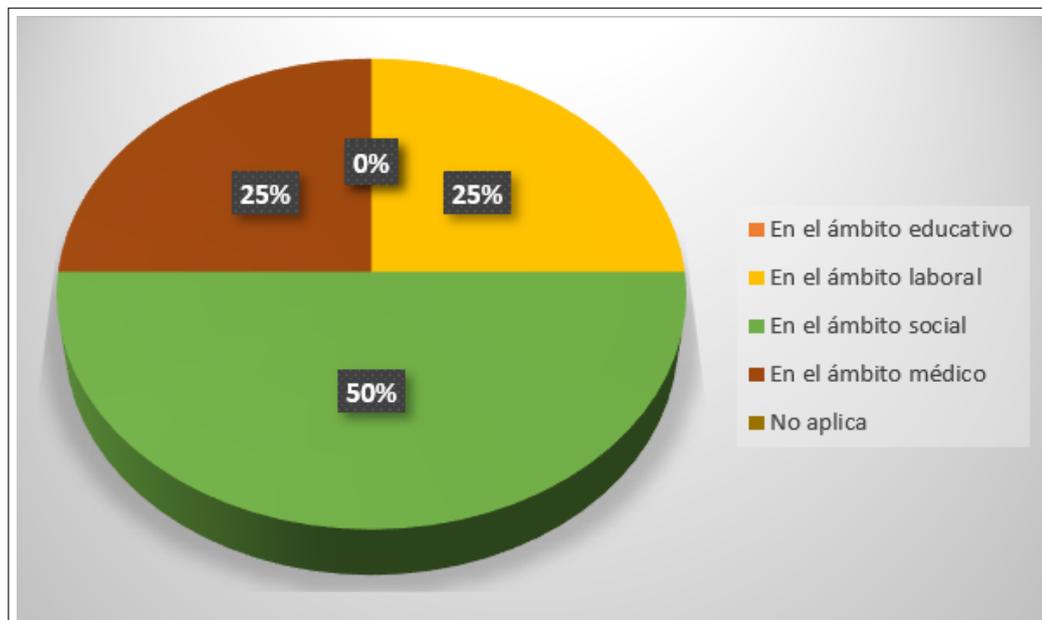


Ilustración 4-6: Representación porcentual de la pregunta 3

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

El ámbito social se destaca como el área donde la mayoría de las personas (2 de 4) reportan dificultades de comunicación como se evidencia en la Ilustración 4-6. Entre las causas probables se encuentran la falta de intérpretes en eventos sociales, la dificultad para leer los labios en entornos con acumulación de personas y la falta de conocimiento sobre la discapacidad auditiva por parte de la sociedad en general.

En el ámbito laboral (1 de 4), las dificultades se relacionan con la falta de accesibilidad en el lugar de trabajo, como la ausencia de intérpretes o de tecnología de asistencia auditiva.

En el ámbito médico (1 de 4), las dificultades pueden surgir por la falta de intérpretes en los centros

de salud, la dificultad para entender las instrucciones médicas y la falta de conocimiento sobre la discapacidad auditiva por parte del personal médico.

Pregunta 4

Tabla 4-4: ¿Cómo te ha impactado la falta de herramientas de traducción de lengua de señas en tu vida personal, educativa o laboral?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Dificultad para acceder a la información	1	25
Dificultad para participar en actividades sociales	2	50
Dificultad para mantener relaciones personales	0	0
Dificultad para acceder a la educación	0	0
No aplica	1	25

Realizado por: Cusme M, 2024

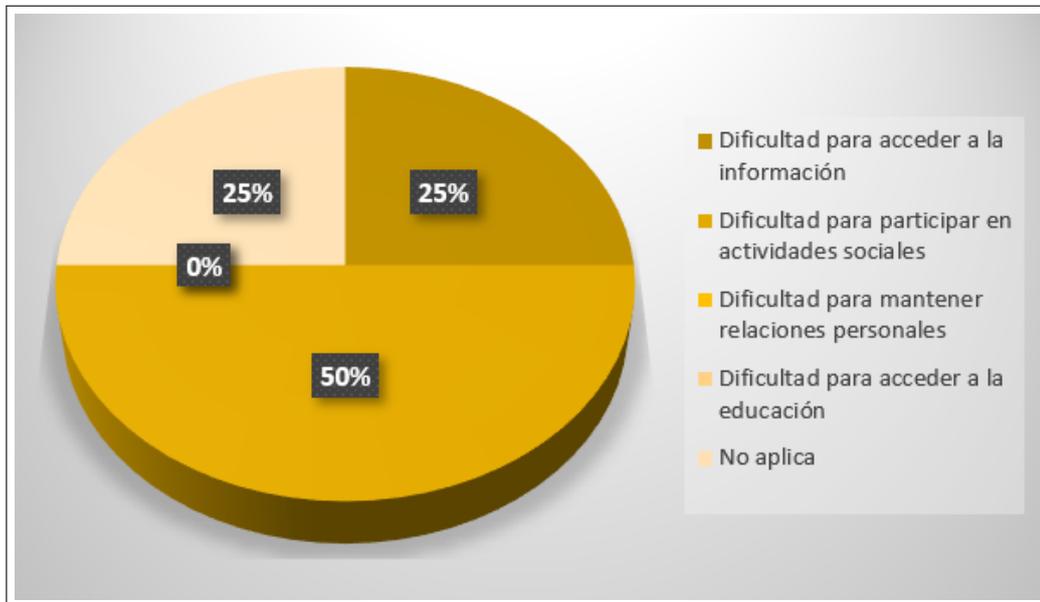


Ilustración 4-7: Representación porcentual de la pregunta 4.

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La carencia de herramientas de traducción de lengua de señas genera un impacto negativo en la vida personal, educativa y laboral de las personas sordas como se evidencia en la representación porcentual de la Ilustración 4-7. Las principales dificultades que experimentan se concentran en la participación en actividades sociales (2 de 4) y el acceso a la información (1 de 4). Un participante (1 de 4) indicó que la pregunta no aplica, lo que podría deberse a la ausencia de dificultades relacionadas con la falta de herramientas de traducción o a una no identificación como persona sorda.

Pregunta 5

Tabla 4-5: ¿Qué características crees que debería tener un sistema traductor de lengua de señas ideal?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Alta precisión en la traducción	0	0
Rapidez en la traducción	2	50
Facilidad de uso	1	25
Bajo costo	1	25
Portabilidad	0	0
Otros	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

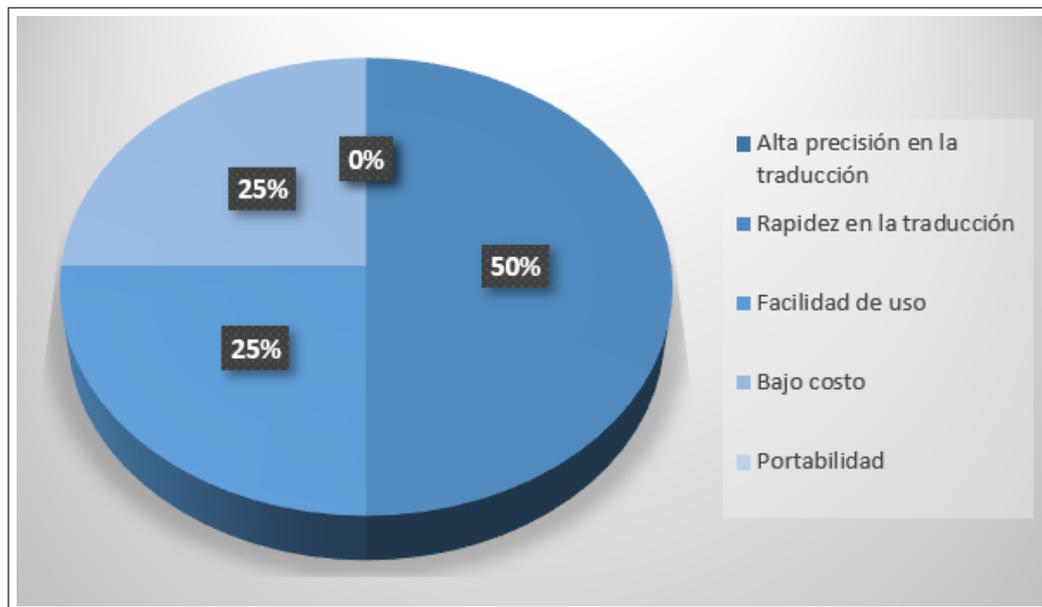


Ilustración 4-8: Representación porcentual de la pregunta 5

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

Las personas sordas consideran la rapidez en la traducción (2 de 4) como la característica más importante, ya que necesitan un sistema que les permita comunicarse de forma fluida y sin interrupciones. La facilidad de uso (1 de 4) también es fundamental, buscando un sistema intuitivo y accesible para diferentes niveles de conocimiento tecnológico. El bajo costo (1 de 4) se destaca como una característica importante para que el sistema sea accesible a todos, independientemente de su nivel socio económico.

Sorprendentemente, la alta precisión en la traducción no fue mencionada como una de las características más importantes como se evidencia en la Ilustración 4-8. Esto podría indicar que las personas sordas priorizan la rapidez y la facilidad de uso sobre la precisión en la traducción.

Pregunta 6

Tabla 4-6: ¿Qué tipo de interfaz te gustaría que tuviera el sistema?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Interfaz basada en gestos	0	0
Interfaz basada en texto	0	0
Interfaz multimodal (combinación de gestos y texto)	4	100
Otros	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

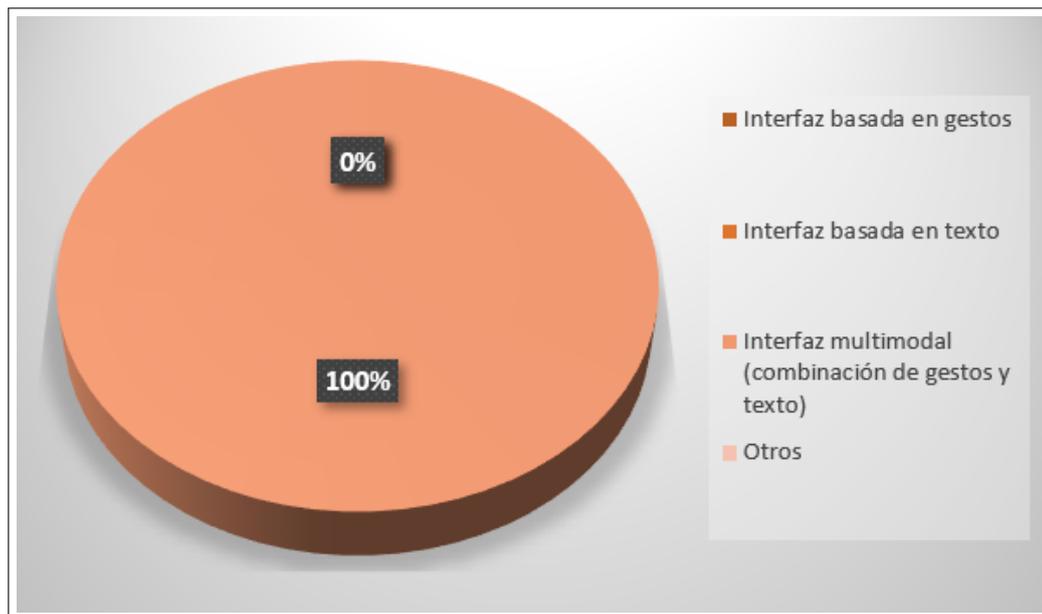


Ilustración 4-9: Representación porcentual de la pregunta 6

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

En relación a la interfaz del sistema traductor, la totalidad de los participantes (100%) optó por una que combine gestos y letras como se presenta en la Ilustración 4-9. Esta preferencia se fundamenta en la naturalidad y fluidez que ofrece este tipo de interfaz, al integrar las ventajas de la lengua de señas (gestos) y la escritura (letras). Las otras opciones no presentan esta combinación, lo que las hace menos atractivas para las personas sordas.

Pregunta 7

Tabla 4-7: ¿Cómo crees que un sistema traductor de lengua de señas impactaría tu vida?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Facilidad de comunicación con personas oyentes	1	25
Me daría mayor independencia en mi vida diaria	2	50
Me permitiría acceder a nuevas oportunidades	1	25
Me permitiría participar	0	0
Otros	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

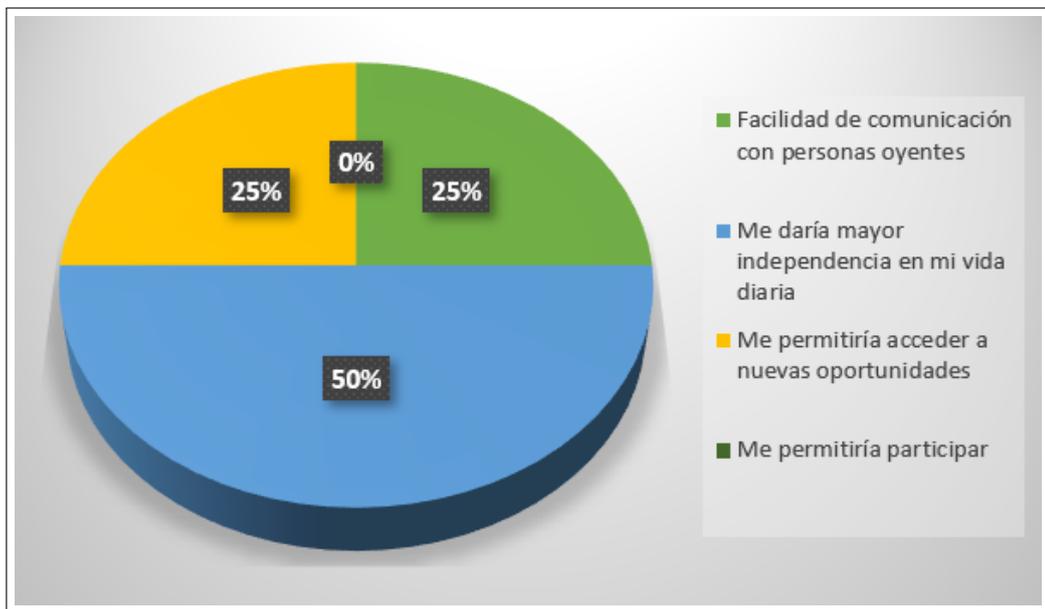


Ilustración 4-10: Representación porcentual de la pregunta 7

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La mitad de los encuestados (50%) considera que el sistema les otorgaría mayor independencia en su vida diaria como se evidencia en la Ilustración 4-10. Esto se basa en la posibilidad de comunicarse con mayor facilidad en diversos contextos sin depender de un intérprete o de otras personas. El 25% mencionó la facilidad de comunicación con personas oyentes como un beneficio importante, ya que el sistema facilitaría la interacción con amigos, familiares, compañeros de trabajo y otras personas en el ámbito social y profesional. Finalmente, otro 25% mencionó que el sistema les permitiría acceder a nuevas oportunidades en educación, empleo y participación social. En general, la traducción automática de la lengua de señas eliminaría las barreras de comunicación que actualmente limitan las oportunidades para las personas sordas.

Pregunta 8

Tabla 4-8: ¿Estarías interesado en recibir un sistema traductor de lengua de señas gratuito?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Si	4	100
No	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

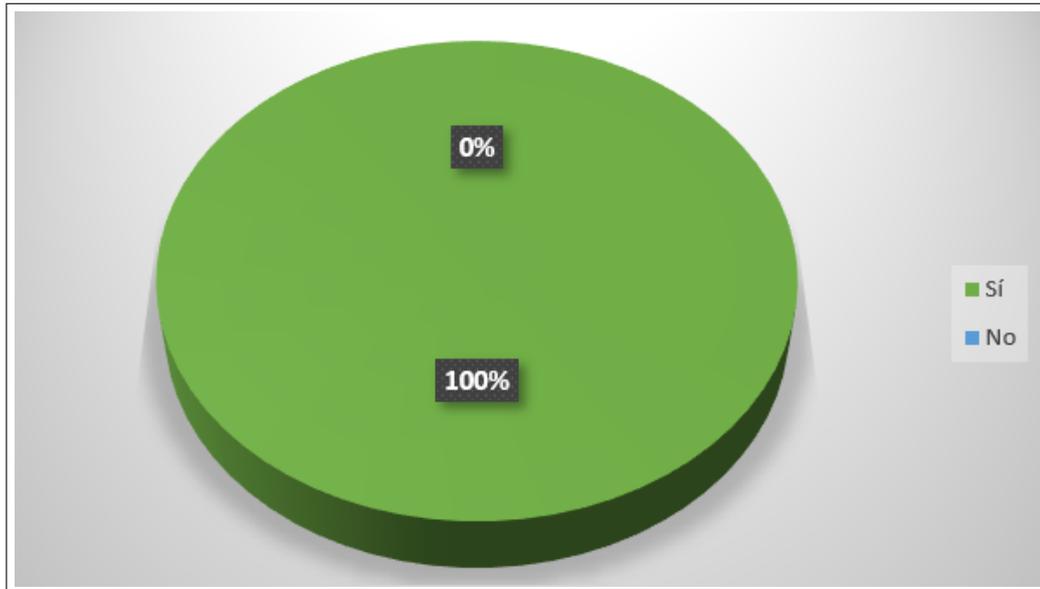


Ilustración 4-11: Representación porcentual de la pregunta 8

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La encuesta revela un notable interés en la comunidad sorda por un sistema traductor de lengua de señas gratuito como se presenta en la Ilustración 4-11. La totalidad de los participantes (100%) mostró interés en recibir un sistema de este tipo. Este resultado confirma la necesidad imperante de contar con herramientas de traducción de lengua de señas que sean accesibles para todas las personas sordas.

Pregunta 9

Tabla 4-9: ¿En qué medida te beneficiaría recibir un sistema traductor de lengua de señas? (Escala de 1 a 5, donde 1 es Muy poco y 5 es Mucho)

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	4	100

Realizado por: Cusme M, 2024

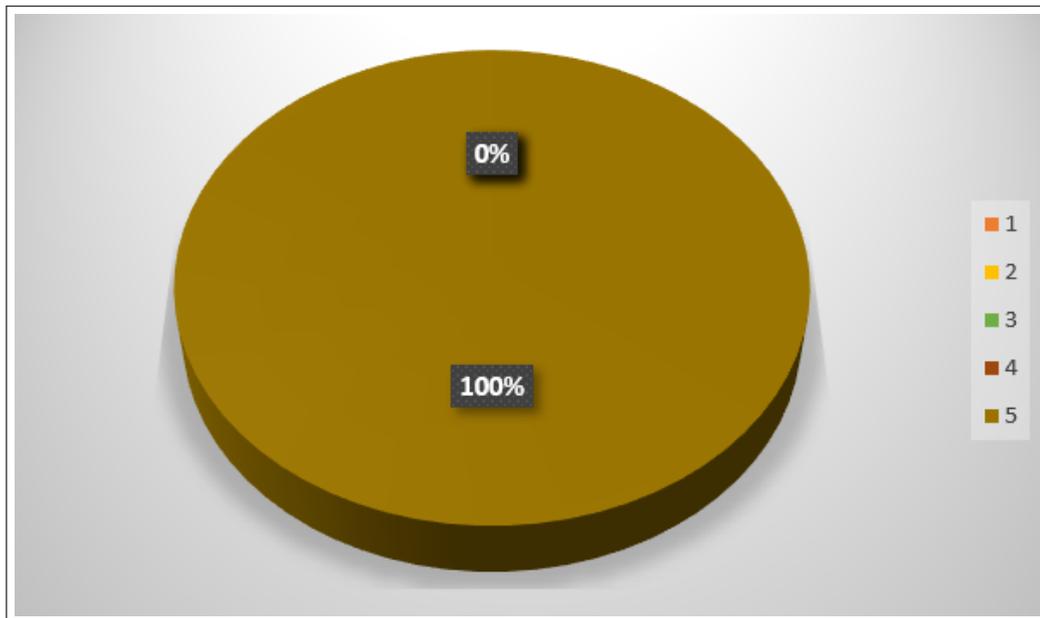


Ilustración 4-12: Representación porcentual de la pregunta 9

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La encuesta revela unánimemente que las personas participantes (100%) consideran que un sistema traductor de lengua de señas les aportaría un gran beneficio como se evidencia en la Ilustración 4-12. Esta respuesta contundente evidencia un alto interés y una necesidad imperante por este tipo de herramientas en la comunidad sorda.

Pregunta 10

Tabla 4-10: ¿Cómo calificarías el Sistema Traductor en términos de rendimiento?

Alternativas	Respuesta	Porcentaje (%)
Excelente	3	75
Bueno	1	25
Regular	0	0
Malo	0	0

Realizado por: Cusme M, 2024

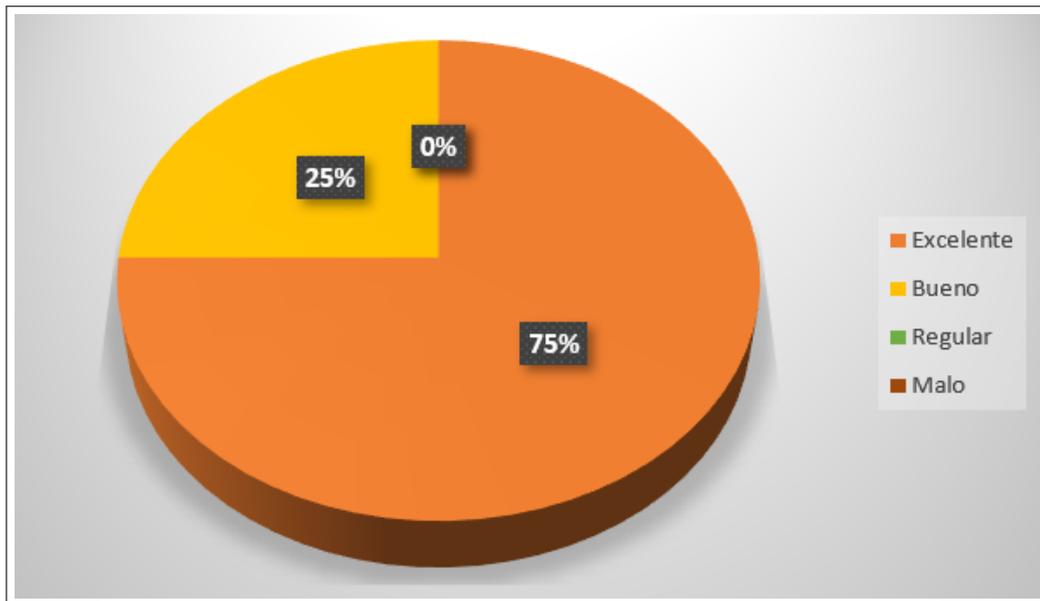


Ilustración 4-13: Representación porcentual de la pregunta 10

Realizado por: Cusme M, 2024

Interpretación

La mayoría de las personas encuestadas (75%) calificaron el rendimiento del Sistema Traductor como excelente o bueno como se evidencia en la Ilustración 4-13. Esto indica que el sistema tiene un alto nivel de satisfacción entre los usuarios. El sistema tiene el potencial de mejorar la comunicación y la calidad de vida de las personas sordas.

4.3 Interfaz del Sistema Traductor propuesto



Ilustración 4-14: Menú principal

Realizado por: Cusme M, 2024

La Ilustración 4-14 muestra el menú principal del Sistema Traductor propuesto. Este menú ofrece tres opciones: Instrucción, Entrenador y Traductor. La sección Instrucción detalla el funcionamiento del sistema y aspectos para su correcto uso. Entrenador permite aprender el alfabeto dactilográfico ecuatoriano y Traductor facilita la traducción de lenguaje de señas dactilológico a lenguaje natural escrito. Este menú atiende a usuarios con distintos niveles de conocimiento del alfabeto dactilográfico ecuatoriano.

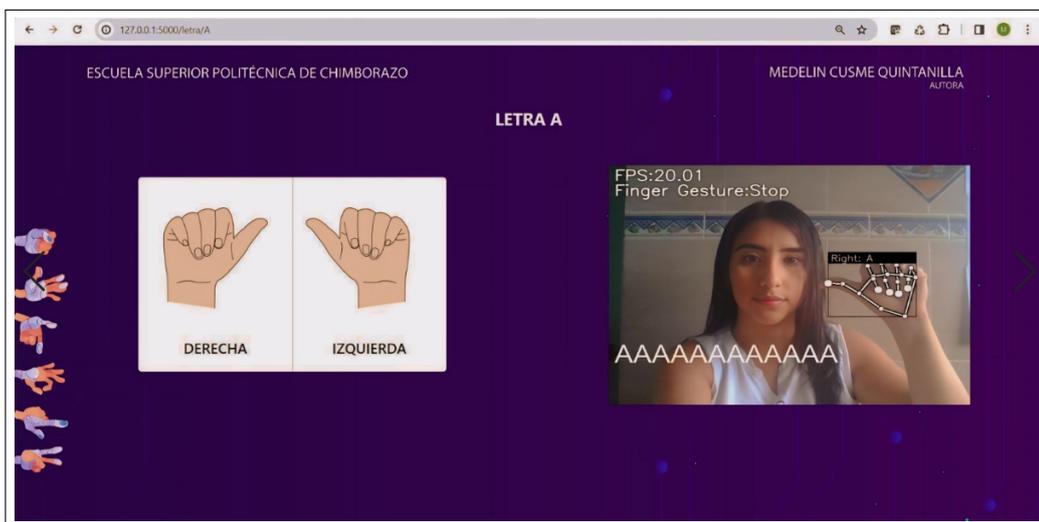


Ilustración 4-15: Opción entrenador

Realizado por: Cusme M, 2024

Opción entrenador: La opción Entrenador del Sistema Traductor ofrece una herramienta interactiva para el aprendizaje individualizado del alfabeto dactilográfico ecuatoriano como se evidencia en la Ilustración 4-15. El usuario puede seleccionar las letras que desea aprender y la

herramienta le mostrará la representación visual del gesto tanto de la mano derecha como izquierda. Adicionalmente, el usuario podrá realizar el gesto con la mano de preferencia y la interfaz le mostrará la letra que está realizando. Esta función permite al usuario practicar y aprender el alfabeto dactilográfico ecuatoriano a su propio ritmo y de manera interactiva.

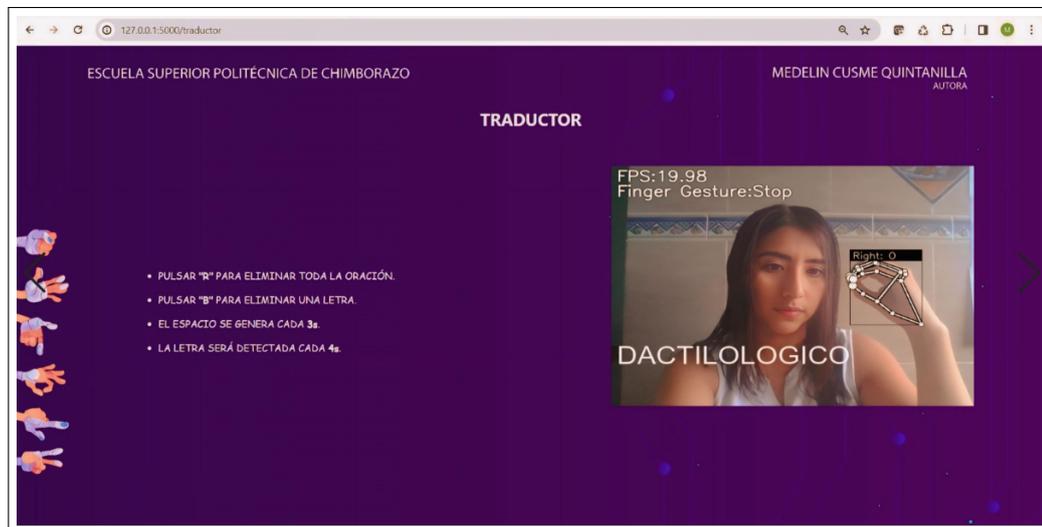


Ilustración 4-16: Opción traductor

Realizado por: Cusme M, 2024

Opción traductor: Está diseñada para la formación de oraciones en lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano como se evidencia en la Ilustración 4-16. Esta sección está dirigida a usuarios con un dominio intermedio a avanzado del alfabeto dactilográfico. El usuario realiza una oración en lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano y el sistema la traducirá a su equivalente en lenguaje natural escrito, mostrando la representación visual de los gestos para cada letra.

En cuanto a la interacción con el sistema traductor, se establecen dos funciones adicionales:

- **Borrado:** La tecla R "borra toda la oración o palabra que se ha escrito en la pantalla. La tecla "B" permite eliminar una letra a la vez.
- **Reconocimiento y temporización:** El sistema reconoce cada letra individual en un intervalo de 4 segundos. El espacio entre palabras se genera cada 3 segundos con su respectivo gesto después de la última letra de la palabra anterior.

4.4 Pruebas de funcionamiento

Con el objetivo de evaluar el rendimiento del sistema traductor mediante visión artificial, se llevaron a cabo cuatro pruebas de funcionamiento en la Unidad Especializada Sordos de Chimborazo. La muestra estuvo compuesta por un niño de segundo grado de educación básica, una adolescente de octavo grado de secundaria, un varón de tercer año de bachillerato y una docente de la institución como se evidencia en la Ilustración 4-17.

El niño de segundo grado utilizó la opción de entrenador, ya que se encuentra en proceso de aprendizaje del alfabeto dactilológico ecuatoriano. Los dos jóvenes, incluyendo la docente, probaron todas las opciones disponibles. Los resultados revelaron un rendimiento global del 99 % para el sistema traductor, lo que demuestra su eficacia para facilitar la comunicación entre personas sordas y oyentes.



Ilustración 4-17: Estudiantes y docente de la institución
Realizado por: Cusme M, 2024

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En esta tesis se realizó un análisis exhaustivo de técnicas de procesamiento de imágenes para el desarrollo de un sistema de traducción de lenguaje de señas. Se seleccionaron métodos específicos para cada etapa: segmentación basada en detección de palma y referencia de la mano, extracción de características mediante puntos clave (21 puntos), y clasificación con redes neuronales convolucionales ResNet. La implementación de estas técnicas busca crear un sistema robusto y preciso que mejore la calidad de vida de las personas no hablantes.
- El sistema implementa un modelo de aprendizaje automático "MediaPipe" para la detección, seguimiento y comprensión de manos en imágenes. El entrenamiento de la red neuronal se realiza con el algoritmo Backpropagation, ajustando pesos sinápticos para minimizar el error entre la salida actual y la deseada, lo que aumenta la precisión y eficiencia del sistema. La evaluación con un conjunto de datos del alfabeto dactilográfico ecuatoriano arrojó una precisión del 100% en la detección de manos y el reconocimiento de gestos.
- Esta tesis describe el diseño e implementación de una interfaz que traduce el lenguaje de señas dactilológico ecuatoriano a lenguaje natural escrito. Se ha implementado utilizando un framework de desarrollo web en Python, lo que lo hace portable y escalable.
- La evaluación del sistema se realizó mediante una matriz de confusión, la cual midió el rendimiento total, incluyendo la precisión del reconocimiento y detección de señas. La matriz muestra la relación entre las señas reales y las que el sistema identificó. Los resultados arrojaron una precisión del 100% en el reconocimiento y detección del alfabeto dactilográfico ecuatoriano. Este sistema tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de las personas no hablantes, facilitando su comunicación con otros.
- El diseño de la red neuronal se basa en una arquitectura con una capa de entrada de 21 neuronas, que corresponden a los puntos de referencia de la mano capturados por MediaPipe, y una capa de salida con 27 neuronas, que representan las letras del alfabeto dactilográfico incluido el gesto del espacio. La cantidad de capas y neuronas se seleccionó cuidadosamente para optimizar el aprendizaje automático del modelo, permitiendo un equilibrio entre la complejidad y la precisión en la traducción de las señas.

- Las pruebas realizadas en los diferentes escenarios lumínicos revelan que el sistema funciona de forma óptima en condiciones de iluminación superior a 1000 luxes. Bajo esta condición, se observa un alto porcentaje de aciertos en la traducción de las señas dactilológicas. Al disminuir la intensidad lumínica, el sistema continúa funcionando, pero se observa una leve reducción en la precisión en comparación con condiciones lumínicas más favorables. Esta reducción en la precisión se acentúa considerablemente cuando la intensidad lumínica es inferior a 100 luxes, impactando negativamente en el porcentaje de aciertos.

RECOMENDACIONES

- El entrenamiento de la red neuronal constituye un pilar fundamental para el éxito del sistema, ya que un proceso meticuloso en esta etapa permite prevenir errores y fallos que podrían afectar negativamente su rendimiento. De esta manera, se asegura la precisión y confiabilidad del sistema, optimizando su funcionamiento y evitando consecuencias negativas.
- La cantidad de datos de entrenamiento para la red neuronal debe ser suficiente para que el sistema tenga la capacidad de predecir correctamente cada letra del alfabeto. Se recomienda utilizar la misma cantidad de datos para cada letra, a fin de garantizar un entrenamiento equilibrado y evitar sesgos en la predicción del sistema. La selección de la cantidad adecuada y equilibrada de datos de entrenamiento es crucial para el éxito de la investigación, ya que permite un aprendizaje efectivo de la red neuronal y una predicción precisa de cada letra del alfabeto.
- La precisión en la ejecución de los gestos por parte del usuario es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema, ya que algunos gestos son similares y pueden confundirlo si no se realizan correctamente. Es responsabilidad del usuario familiarizarse con los gestos y practicar su ejecución para evitar confusiones y garantizar un buen rendimiento del sistema. Se recomienda consultar la guía de ayuda para conocer la forma correcta de realizar cada gesto.
- El desarrollo de una versión del sistema para dispositivos móviles ampliaría significativamente su accesibilidad, permitiendo que tanto personas no hablantes como hablantes se beneficien de sus capacidades. La accesibilidad móvil facilitaría la comunicación e interacción para personas con diferentes necesidades, promoviendo la inclusión social y la igualdad de oportunidades.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE GUARACA, Valeria Esthefanía, Diseño e implementación de un sistema traductor de lengua de señas mediante inteligencia artificial para personas con discapacidad auditiva(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, Riobamba, Ecuador, 2022. Págs. 23-24.

ARIAS, Ivan, Manual de procedimiento para evaluación de calidad de los gases de combustión, medición de ruidos y sistemas de iluminación, aplicado a buses de transporte de pasajeros en base a normas y reglamentos técnicos ecuatorianos vigentes(, Trabajo de titulación), ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, Ecuador, 2013. Págs. 46-47.

BIN, Ji;etal. *Review of Recent Machine-Vision Technologies in Agriculture. IEEE* [en línea], 2009, (10/02/2024) n.º 3, págs. 330-334, Wuhan, China Disponible en: <https://doi.org/10.1109/KAM.2009.231>.

BONILLA CARRIÓN, Carmelo, Redes convolucionales(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD DE SEVILLA, Sevilla, España, 2020. Págs. 8-9.

CASTIBLANCO FRANCO, John. *Movilidad y aprendizaje: utilización de la inteligencia artificial para la traducción de textos en LSC. REVISTA ESPACIOS* [en línea], 2021, (5/01/2024) vol. 42 n.º 4, págs. 76-77 Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a21v42n04/a21v42n04p07.pdf>.

FRANCO, Francisco. *La función de activación de Softmax*, 2024.

GALEA, Alex. *Beginning Data Science with Python and Jupyter: Use powerful tools to unlock actionable insights from data*, 2018.

GARZÓN TIPÁN, Byron Fernando, Sistema de traducción de lenguaje de señas a lenguaje oral y escrito mediante un guante electrónico.(Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, Quito, Ecuador, 2020. Págs. 11-12.

GONZÁLEZ, R. *An overview of image processing and pattern recognition techniques*, 1987.

GONZÁLEZ MARCOS, Ana; et al. *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial*, 2006, 15-16.

HATTON, L;et al. *Seismic data Processing: Theory and practice. Blackwell* [en línea], 1986, (10/02/2024), Inglaterra Disponible en: .

IESS, *Decreto ejecutivo 2393 reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*, 1986, 31-32.

KARIMI, Zohreh. *Confusion Matrix. ResearchGate* [en línea], 2021, (10 febrero 2024), págs. 1-4, Iran Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355096788_Confusion_Matrix.

KULAPPURATH, Renzo. *The effect of luminance on the perception of small color differences. Color Research & Application* [en línea], 2021, (10/02/2024) vol. 46, págs. 929-942 Disponible en: <https://doi.org/10.1002/col.22637>.

MACÍAS ROJAS, Luis Guillermo, Caracterización de un prototipo de un sensor Flex aplicado al reconocimiento de la dactilología en Lengua de Señas Mexicana.(Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, Cuernavaca, México, 2023. Págs. 27-28.

MARTIN CALVO, Jorge. *La importancia de las funciones de activación en una red neuronal*, 2022.

MARTÍN TOMÁS, Alberto, Investigación de Detección de Bordes a Radiografías con Deep Learning(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid, España, 2023. Págs. 22-24.

MONTENEGRO CHORE, Manuel Grabiél, Sistema computacional basado en inteligencia artificial que mejora la comunicación con una persona sordomuda mediante el alfabeto de señas.(Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO, Lambayeque, Perú, 2023. Págs. 6-7.

MSP(Ecuador), *Informe de Evaluación de Resultados del Proyecto “Atención Integral e Integradora a Personas con Discapacidad, Rehabilitación y Cuidados Especiales en Salud a Nivel Nacional,” PAEV 2021-2022*, 2022, 9-10.

NOGUÉ, Jordi. *Conocimientos básicos de visión artificial*. infoPLC [en línea], 2012, (10/02/2024), págs. 6-15 Disponible en: https://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf.

OPPENHEIM, R. *Digital Signal Processing*, 1975.

ORTEGA ZAMORANO, Francisco, Algoritmos de aprendizaje neurocomputacionales para su implementación hardware(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, Málaga, España, 2015. Págs. 19-20.

PASSARIELLO, Fernando. *Imágenes Médicas: Adquisición, Análisis, Procesamiento e Interpretación*, 1995, 61-98.

POLYANSKAYA, Marina. *Lux Light Meter Pro*, 2021.

PROAÑO GAVILANES, Patricia Wendy, Sistema automático de decodificación de lengua de señas ecuatoriano a comunicación verbal.(Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, Ecuador, 2023. Págs. 15-16.

SARCO CALAPIÑA, Darwin Vladimir, Aplicación de la inteligencia artificial en el desarrollo de software(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador, 2022. Págs. 29-30.

SERRANO, Antonio; et al. *Redes neuronales artificiales*, 2010, 17-19.

SIERRA RAMOS, Juan Miguel, Introducción a las redes neuronales artificiales(, Trabajo de titulación), UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Madrid, España, 2022. Págs. 8-11.

SOGAARD, J. *Determination of crop rows by image analysis without segmentation*. *Science Direct* [en línea], 2003, (10/02/2024) vol. 38, págs. 141-158 Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00140-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00140-0).

UDUPA, J;et al. *The 3DVIEWNIX software system* [en línea], 1993, (10/02/2024) n.º MIPG203, Pensilvania
Disponible en: https://www.mipg.upenn.edu/~Vnews/mipg_pub.html.

Vicepresidencia, República (Ecuador). *Glosario Básico de Lengua de Señas Ecuatoriana*, 2013, 21-22.



ANEXOS

ANEXO A: SISTEMA TRADUCTOR IMPLEMENTADO (INTERFAZ GRÁFICA)

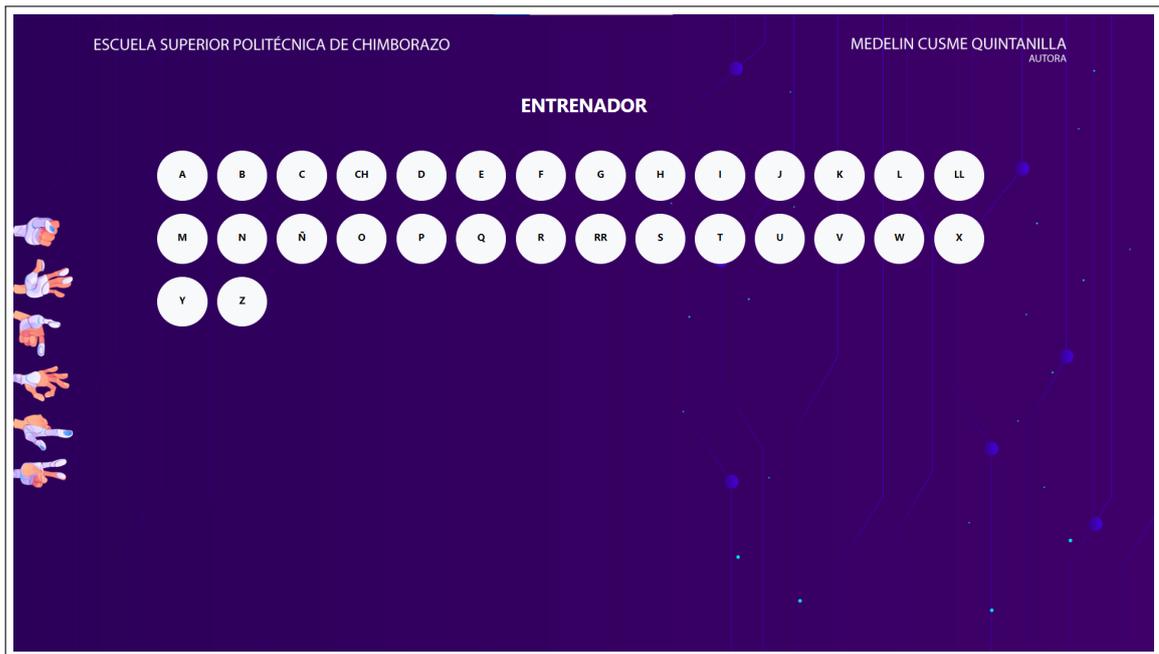
■ Menú Principal



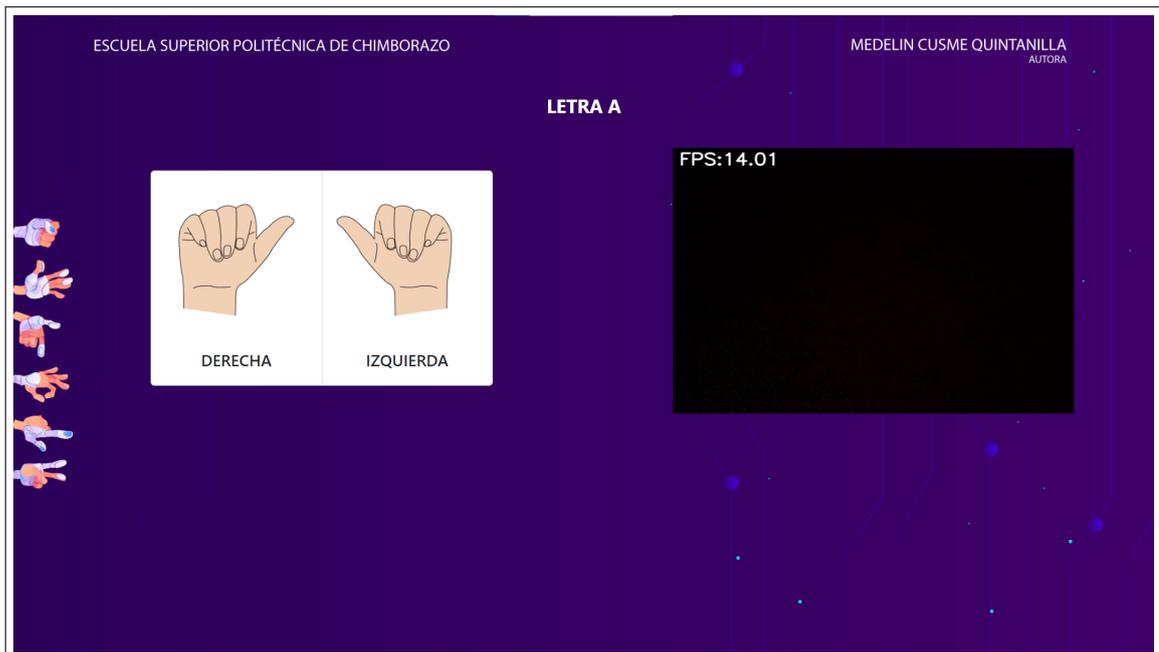
■ Ventana de instrucciones generales



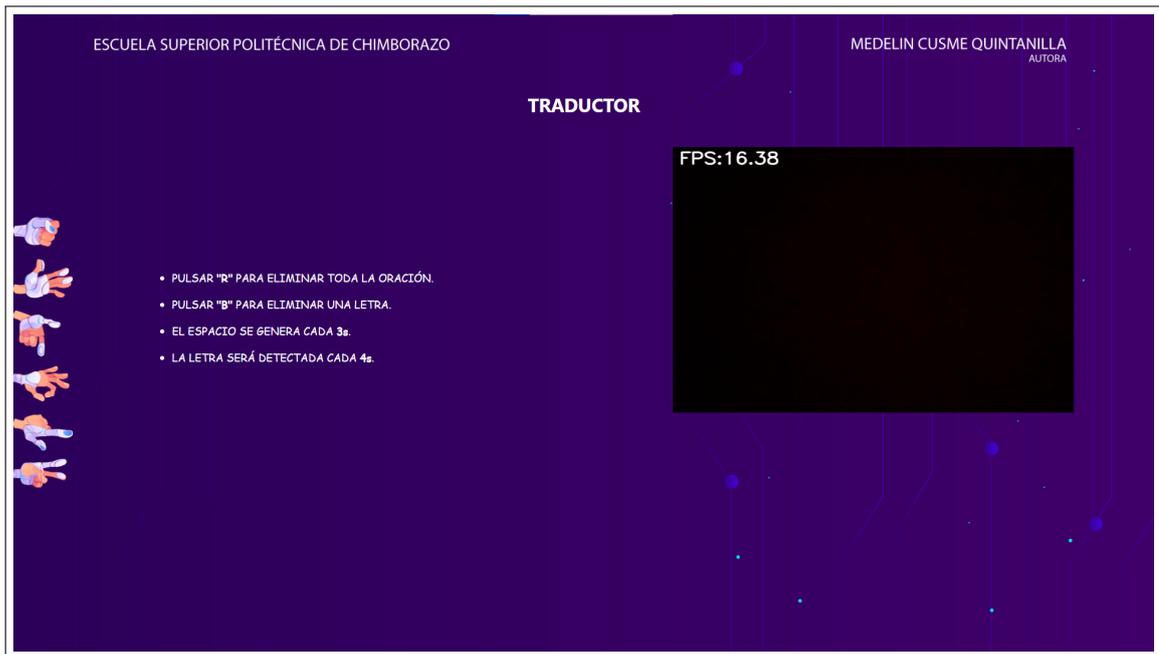
- Ventana de la opción entrenador



- Ventana para el entrenamiento de la letra A.



■ Ventana de la opción Traductor



ANEXO B: ENCUESTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

- **NOS GUSTARÍA CONOCER TÚ OPINIÓN.**

1. ¿En qué rango de edad te encuentras?

- 7-17 años
- 25-28 años
- 26-35 años
- 36-45 años
- Mayor a 45 años

2. ¿Cuál es tu nivel de dominio de la lengua de señas ecuatoriana?

- Básico
- Intermedio
- Avanzado
- Nulo

3. ¿En qué situaciones te has encontrado con dificultades de comunicación debido a tu discapacidad auditiva? (Selecciona todas las que apliquen).

- En el ámbito educativo
- En el ámbito laboral
- En el ámbito social
- En el ámbito médico
- No aplica

4. ¿Cómo te ha impactado la falta de herramientas de traducción de lengua de señas en tu vida personal, educativa o laboral? (Selecciona todas las que apliquen).

- Dificultad para acceder a la información
- Dificultad para participar en actividades sociales
- Dificultad para mantener relaciones personales
- Dificultad para acceder a la educación
- No aplica

5. ¿Qué características crees que debería tener un sistema traductor de lengua de señas ideal? (Selecciona todas las que apliquen).

- Alta precisión en la traducción
- Rapidez en la traducción
- Facilidad de uso
- Bajo costo
- Portabilidad (disponible en diferentes dispositivos)
- Otros

6. **¿Qué tipo de interfaz te gustaría que tuviera el sistema? (Selecciona todas las que apliquen).**

- Interfaz basada en gestos
- Interfaz basada en texto
- Interfaz multimodal (combinación de gestos y texto)
- Otros

7. **¿Cómo crees que un sistema traductor de lengua de señas impactaría tu vida?**

- Facilidad de comunicación con personas oyentes
- Me daría mayor independencia en mi vida diaria
- Me permitiría acceder a nuevas oportunidades educativas y laborales
- Me permitiría participar
- Otros

8. **¿Estarías interesado en recibir un sistema traductor de lengua de señas gratuito?**

- Sí
- No

9. **¿En qué medida te beneficiaría recibir un sistema traductor de lengua de señas? (Escala de 1 a 5, donde 1 es Muy poco y 5 es Mucho).**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10. **¿Cómo calificarías el Sistema Traductor en términos de rendimiento?**

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

ANEXO C: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO





**ANEXO D: OFICIO EMITIDO POR DIRECCIÓN DE CARRERA SOLICITANDO ACCESO
A LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO**



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**CARRERA INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES- TELECOMUNICACIONES**

Riobamba, 15 de enero de 2024

Licenciado
Juan Yumisaca, MCS.
DIRECTOR DISTRITAL 06D01
Presente

Un saludo cordial:

A nombre de la Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, expresamos un atento saludo, al tiempo que solicito de la manera más comedida se autorice a la Srta. Medelin Lisset Cusme Quintanilla, tesista de la Carrera, el acceso a la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, con la finalidad de trabajar con los estudiantes de la Unidad Educativa, para conocer las necesidades de este grupo prioritario para la mejora del Proyecto de grado enfocado al lenguaje de señas ecuatoriano dactilológico mismo que al termino será donado a la Institución antes mencionada.

Por la atención le agradezco.

Dra. Lourdes Zúñiga
COORDINADORA CARRERA TELECOMUNICACIONES
Correo Electrónico: eiet@espoch.edu.ec



ANEXO E: AUTORIZACIÓN DE ACCESO A LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO OTORGADA POR EL DIRECTOR DISTRITAL DE EDUCACIÓN 06D01 CHAMBO RIOBAMBA

 <p>REPÚBLICA DEL ECUADOR</p>	<p>Ministerio de Educación</p>
<p>Oficio Nro. MINEDUC-CZ3-06D01-2024-0291-O</p>	
<p>Riobamba, 25 de enero de 2024</p>	
<p>Asunto: COMPROMISO CIUDADANO:OF SN DE FECHA 15 DE ENERO DRA LOURDES ZUÑIGA LEMA COORDINADORA DE LA CARRERA DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESPOCH, SOLICITA SE AUTORICE EL INGRESO A LA SRTA CUSME QUINTANILLA MEDELIN A LA UE SORDOS DE CHIMBORAZO</p>	
<p>Señora Lourdes del Carmen Zuñiga Lema En su Despacho</p>	
<p>De mi consideración:</p>	
<p>En respuesta al Documento No. MINEDUC-CZ3-06D01-UDAC-2024-0341-E, COMPROMISO CIUDADANO; Oficio S/N, de fecha, Riobamba, 15 de enero de 2024, que en lo pertinente refiere "(...) A nombre de la facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, expresamos un atento saludo, al tiempo que solicito de la manera más comedida se autorice a la Srta. Medelin Lisset Cusme Quintanilla, tesista de la Carrera, el acceso a la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, con la finalidad de trabajar con los estudiantes de la Unidad Educativa, para conocer las necesidades de este grupo prioritario para la mejora del Proyecto de grado enfocado al lenguaje de señas ecuatoriano dactilológico mismo que al termino será donado a la Institución antes mencionada (...)".</p>	
<p>Al respecto, este Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba; indica que revisado el documento autoriza su solicitud, en consecuencia, deberá realizar la coordinación que corresponda con la autoridad de la institución educativa referida, en función de articular la actividad, considerando siempre que la participación de los estudiantes, así como la información que pudieren proporcionar los mismos, será exclusivamente de carácter académico, y sujeta a la voluntad de cada una de ellos, además deberán precautelar de manera estricta la integridad física de los estudiantes mientras se desarrolla el evento.</p>	
<p>Reitero mi singular estima.</p>	
<p>Atentamente,</p>	
<p>Dirección: Av. Amazonas N34-451 y Av. Atahualpa Código Postal: 170507 / Quito – Ecuador Telf.: (+593 2) 02-396-1300 www.educacion.gov.ec</p>	
<p>EL NUEVO ECUADOR 1/2</p>	



Oficio Nro. MINEDUC-CZ3-06D01-2024-0291-O

Riobamba, 25 de enero de 2024

Riobamba, 25 de enero de 2024

Documento firmado electrónicamente

Juan Yumisaca Malan

DIRECTOR DISTRITAL 06D01 - CHAMBO-RIOBAMBA á EDUCACIÓN

Referencias:

- MINEDUC-CZ3-06D01-UDAC-2024-0341-E

Anexos:

- lourdes_zuñiga_lemma_solicita_ingreso_a_ie.pdf

Copia:

Señor Magíster
Hitler Geovani Velastegui Mendoza
Analista Distrital de Regulación

hv/ot

En respuesta al Documento Nro. MINEDUC-CZ3-06D01-UDAC-2024-0341-E, COMPROMISO CIUDADANO; Oficio S/N, de fecha, Riobamba, 15 de enero de 2024, que en lo pertinente refiere "(...) A nombre de la facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, expresamos un atento saludo, al tiempo que solicito de la manera más comedida se autorice a la Sra. Medelin Lisset Carne Quintanilla, residente de la Carrera, el acceso a la Unidad Educativa Especializada Señores de Chimborazo, con la finalidad de trabajar con los estudiantes de la Unidad Educativa, para conocer las necesidades de este grupo prioritario para la mejora del Proyecto de grado enfocado al lenguaje de señas ecuatoriano dactilológico mismo que al término será donado a la institución antes mencionada (...)."

Al respecto, este Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba, indica que revisado el documento autoriza su solicitud, en consecuencia, deberá realizar la coordinación que corresponda con la autoridad de la institución educativa referida, en función de articular la actividad, considerando siempre que la participación de los estudiantes, así como la información que pudieren proporcionar los mismos, será exclusivamente de carácter académico, y sujeta a la voluntad de cada una de ellas, además deberán precaritar de manera estricta la integridad física de los estudiantes mientras se desarrolla el evento.

Reitero mi singular estima.

Atentamente,



JUAN YUMISACA MALAN

ANEXO F: OFICIO A LA DIRECTORA DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CARRERA INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES- TELECOMUNICACIONES

Riobamba, 29 de enero de 2024

Licenciada

Susana Romero

DIRECTORA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO

Presente

Un saludo cordial:

A nombre de la Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Telecomunicaciones, expresamos un atento saludo, al tiempo que solicito de la manera más comedida se autorice a la Srta. Medelin Lisset Cusme Quintanilla, tesista de la Carrera, el acceso a la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, con la finalidad de trabajar con los estudiantes de la Unidad Educativa, para conocer las necesidades de este grupo prioritario para la mejora del Proyecto de grado enfocado al lenguaje de señas ecuatoriano dactilológico, además nos proporcione información referente al grupo de estudiantes que va a ser uso del proyecto, mismo que al termino será donado a la Institución antes mencionada.

Por la atención le agradezco.

Dra. Lourdes Zúñiga

COORDINADORA CARRERA TELECOMUNICACIONES

Correo Electrónico: eietr@epoch.edu.ec



Recibido
29-01-2024
Susana Romero

ANEXO G: CERTIFICADO OTORGADO POR LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO



“UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA SORDOS DE CHIMBORAZO”

Resolución Nro. MINEDUC-CZ3-2019-00126-R * Riobamba – Ecuador

- PROGRAMAS:**
- Unidad de Estimulación Temprana
 - Albergue
 - Educación Inicial
 - Servicio de Audiometrías
 - Educación Básica
 - Talleres
 - Bachillerato Técnico en Industria de la Confección

“Lo que mi oído no escucha mi corazón lo recoge”

CERTIFICACIÓN

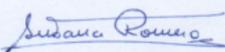
En calidad de Rectora de la Unidad Educativa Especializada “Sordos de Chimborazo”, tengo a bien **CERTIFICAR QUE:**

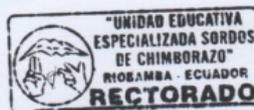
La Srta. **MEDELIN LISSET CUSME QUINTANILLA**, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Carrera de Telecomunicaciones con **CC: 0803756915**, estuvo presente en la Unidad Educativa Especializada Sordos Chimborazo, ejecutó las respectivas pruebas del Prototipo realizado del Proyecto de Investigación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TRADUCTOR DE LENGUA DE SEÑAS DACTILOLOGICO AL LENGUAJE NATURAL ESCRITO PARA PERSONAS NO HABLANTES MEDIANTE VISION ARTIFICIAL” en donde se comprobó la funcionalidad obteniendo buenos resultados los mismos que facilitarían la comunicación de las Personas Sordas en la sociedad en general, a partir de las 7H30 hasta las 9H00, por varias ocasiones.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente documento en lo que estimare conveniente.

Riobamba, 22 de febrero del 2024

Atentamente,


Lic. Susana Romero Z.
RECTORA.

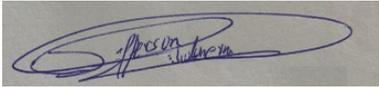


DIRECCIÓN: Loja 13-45 y Junín Teléfono: 032 969 833
Email: instsordoschimborazo@hotmail.com
RIOBAMBA - ECUADOR



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 15/04/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Medelin Lisset – Cusme Quintanilla
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniera en Telecomunicaciones
 Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez PhD Director del Trabajo de Titulación  Ing. Lourdes del Carmen Zuñiga Lema Asesora del Trabajo de Titulación