



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

MAESTRÍA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA

**Desarrollo de un prototipo móvil para la lectura de
medidores de agua potable usando técnicas de
procesamiento de imágenes**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

MAGÍSTER EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA

Autor: Pillaga Zhagñay, Luis Antonio

Director: Riofrio Calderón, Guido Eduardo

LOJA

2025

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 15 de febrero de 2025

Doctor

Luis Rodrigo Barba Guamán

Director de la maestría de Inteligencia Artificial Aplicada

Loja.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación nominado: Desarrollo de un prototipo móvil para la lectura de medidores de agua potable usando técnicas de procesamiento de imágenes realizado por Luis Antonio Pillaga Zhagñay ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Guido Eduardo Riofrio Calderón, PhD.

C.I.: 1103214969

Correo electrónico: geriofrio@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Luis Antonio Pillaga Zhagñay, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Titulación denominado: Desarrollo de un prototipo móvil para la lectura de medidores de agua potable usando técnicas de procesamiento de imágenes, de la maestría en Inteligencia Artificial Aplicada, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1: Marco Teórico, Capítulo 2: Metodología, Capítulo 3: Desarrollo y Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, siendo Guido Eduardo Riofrio Calderón, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”, en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Autor: Luis Antonio Pillaga Zhagñay

C.I.: 0301971495

Correo electrónico: lapillaga2@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Este trabajo representa el fruto de años de esfuerzo, dedicación y el apoyo incondicional de personas muy especiales en mi vida. Con profundo cariño y gratitud, dedico este logro:

A mi madre Julia Zhagñay, por cada una de sus palabras de aliento durante todos mis años de estudio. Su apoyo incondicional ha sido mi fortaleza, y agradezco profundamente su mejor legado: el valor de siempre procurar ser una buena persona.

A mi segunda madre, Evangelina Dután, quien sin lazos de sangre pero con un corazón inmenso, siempre estuvo dispuesta a acogerme y velar por mi bienestar. Aunque ya no estés físicamente conmigo, sé que desde el cielo continúas cuidándome y guiando mis pasos.

A mi nueva familia, Lesly y Luis Nicolás, quienes se convirtieron en el motor que me impulsó a dar este importante paso. Su apoyo y comprensión fueron fundamentales para que pudiera completar este trabajo.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a cada ser humano que ha formado parte de mi camino, aportando a mi crecimiento personal y profesional, y enseñándome las valiosas lecciones que la vida ofrece en sus múltiples facetas.

Agradecimiento

TODO

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	I
Declaración de autoría y cesión de derechos	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	IV
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
1 Introducción	4
1.1 Contextualización del Problema: El Agua y Saneamiento en el Sector Rural.....	4
1.2 Problemática	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Alcance y Limitaciones	7
1.5.1 Alcance del Proyecto	7
1.5.2 Limitaciones de la Investigación	8
1.6 Estructura del Documento	8
2 Marco Teórico.....	10
2.1 Gestión Comunitaria del Agua Potable y Saneamiento.....	10
2.1.1 Las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS)	10
2.1.2 Hacia la Digitalización de los Servicios Básicos Rurales	10
2.2 Fundamentos de Visión por Computadora para el Análisis de Medidores.....	11
2.2.1 Procesamiento Digital de Imágenes en Dispositivos Móviles	11
2.2.2 Modelos de Detección de Objetos	11
2.3 Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) Aplicado.....	11
2.3.1 Evolución de las Técnicas de OCR.....	12
2.3.2 Arquitecturas Neuronales para el Reconocimiento de Texto	12
2.3.3 Optimización de Modelos para Inferencia Local	12

2.4	Desarrollo de Sistemas Móviles con Capacidades Offline	13
2.4.1	Arquitectura de Aplicaciones Android Modernas	13
2.4.2	Estrategias de Persistencia de Datos Offline-First.....	13
2.5	Trabajos Relacionados y Estado del Arte	13
2.5.1	Sistemas de Lectura Automática de Medidores (AMR/AMI).....	13
2.5.2	Aplicaciones de Visión por Computadora para la lectura de medidores.....	13
2.5.3	Implementaciones de OCR en dispositivos móviles para casos de uso de campo.....	14
2.5.4	Análisis comparativo de soluciones existentes	14
Conclusiones		15
Recomendaciones		16
Referencias		17

Índice de tablas

Índice de figuras

Resumen

El resumen se presentará en un único párrafo con un máximo de **180 palabras**, sintetiza el aporte que brinda el trabajo realizado. **Obligatoriamente** debe contener las palabras clave **(máximo tres)**.

Ejemplo:

Texto por completar. El resumen debe ser claro y conciso, describiendo los objetivos, metodología, resultados y conclusiones del trabajo de investigación o proyecto. Es importante que el lector pueda entender rápidamente el propósito y los hallazgos principales sin necesidad de profundizar en el documento completo.

Palabras clave: xxxxxxxxx, xxxxxxxx, xxxxxx.

Abstract

Abstract es el resumen traducido al idioma inglés en donde se incluyen las palabras claves.

Obligatoriamente debe contener las palabras claves (**máximo tres**).

Ejemplo:

Texto por completar. The abstract should be clear and concise, summarizing the objectives, methodology, results, and conclusions of the research or project. It is important that the reader can quickly understand the purpose and main findings without needing to delve into the full document.

Keywords: xxxxxxxxxx, xxxxxxxx, xxxxxx.

Introducción

Se sugiere presentar en máximo **dos páginas** y considerar los siguientes puntos:

Capítulo uno

Introducción

1.1 Contextualización del Problema: El Agua y Saneamiento en el Sector Rural

El acceso a agua potable y saneamiento constituye un derecho humano fundamental y es una piedra angular para el desarrollo sostenible, la salud pública y la prosperidad económica. La comunidad internacional ha ratificado su importancia a través de la Agenda 2030, donde el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6) insta a “garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” (Naciones Unidas, 2015). A pesar de los avances globales, persisten brechas significativas, especialmente en las zonas rurales de países en desarrollo, donde las comunidades a menudo dependen de modelos de gestión descentralizados y comunitarios para la prestación de estos servicios esenciales.

En el contexto de América Latina, y específicamente en Ecuador, las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS) emergen como la estructura predominante para la gestión del agua en el sector rural. Estas organizaciones, de naturaleza comunitaria, son responsables de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de agua, desempeñando un rol crucial que el Estado no siempre logra cubrir (Roa-García et al., 2019). Su labor no solo garantiza el suministro de agua a millones de personas, sino que también fomenta la cohesión social y la gobernanza local de los recursos naturales.

Sin embargo, la sostenibilidad de estas organizaciones enfrenta desafíos sistémicos. Estudios sobre la gestión comunitaria del agua en la región andina señalan que, si bien estos modelos son efectivos para expandir la cobertura, a menudo luchan con limitaciones técnicas, financieras y administrativas que comprometen su viabilidad a largo plazo (Toma et al., 2020). La falta de herramientas tecnológicas adaptadas a su realidad operativa, caracterizada por recursos limitados y brechas de capacidad técnica, agrava estas dificultades y amenaza la calidad y continuidad del servicio, impactando directamente en el bienestar de las comunidades a las que sirven. Este trabajo de titulación se enmarca en la búsqueda de soluciones tecnológicas pertinentes y adaptadas para fortalecer a estas organizaciones vitales.

1.2 Problemática

Si bien las JAAPS son un pilar en la gestión del agua rural, su modelo operativo tradicional se ve amenazado por un conjunto de ineficiencias críticas que comprometen su sostenibilidad financiera y la confianza de la comunidad. El núcleo de esta problemática reside en el

proceso de toma de lecturas, una tarea manual que es fundamental para el ciclo de facturación y la gestión del recurso. Este proceso, que generalmente implica el desplazamiento de un operario para transcribir los valores de cada medidor en papel, es inherentemente lento y propenso a errores humanos que contribuyen directamente a las *pérdidas comerciales* del sistema. Estas pérdidas aparentes, causadas por factores como errores en la lectura de medidores y en la manipulación de datos para la facturación, pueden generar una subvaloración significativa del consumo real, conduciendo a una facturación imprecisa y a la pérdida de ingresos vitales para la junta (Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), 2025).

Estas imprecisiones se ven agravadas por los desafíos logísticos. El personal de las JAAPS debe cubrir áreas geográficamente dispersas, a menudo con topografía compleja, lo que resulta en demoras operativas. Además, la dependencia de una conectividad a internet intermitente o inexistente en muchas de estas zonas rurales ha sido una barrera histórica para la adopción de soluciones digitales, que frecuentemente requieren una conexión constante para sincronizar datos con una plataforma centralizada (Fieldeke et al., 2021). Esta “brecha digital” obliga a las JAAPS a perpetuar flujos de trabajo basados en papel, con la consecuente duplicación de esfuerzos para la digitación de datos en sistemas contables, un paso que no solo consume tiempo valioso sino que también introduce una segunda fuente de posibles errores.

Las consecuencias de estas fallas operativas son sistémicas. Una facturación errónea erosiona la confianza de los usuarios en la administración de la junta, lo que puede derivar en una cultura de impago y afectar la recaudación. A su vez, la falta de datos de consumo fiables y oportunos impide a la directiva de la JAAPS realizar análisis técnicos esenciales, como el cálculo del balance hídrico o la detección temprana de fugas y consumos no autorizados, componentes clave del agua no contabilizada (Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), 2025). En última instancia, este círculo vicioso de ineficiencia administrativa y debilidad técnica limita la capacidad de las JAAPS para planificar inversiones, realizar mantenimientos preventivos y garantizar la sostenibilidad a largo plazo del servicio de agua potable para la comunidad.

1.3 Justificación

La presente investigación se justifica en tres dimensiones interconectadas que responden directamente a la problemática expuesta.

En primer lugar, desde una perspectiva tecnológica, el proyecto es oportuno y pertinente. Los avances recientes en el campo del aprendizaje profundo (deep learning), específi-

camente en arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN) optimizadas para dispositivos de bajos recursos, han abierto la puerta a soluciones que antes eran inviables. El uso de frameworks como TensorFlow Lite permite encapsular modelos de visión por computadora potentes en un formato ligero, capaz de ejecutar la inferencia directamente en un teléfono móvil estándar sin depender de una conexión a internet (Carvalho et al., 2023). Esta capacidad de procesamiento local (edge computing) es precisamente la innovación técnica que permite superar la barrera de la conectividad intermitente, el principal obstáculo para la digitalización de procesos en las zonas rurales atendidas por las JAAPS.

En segundo lugar, la justificación social y económica es directa y de alto impacto. Al automatizar el proceso de lectura de medidores, el prototipo propuesto tiene el potencial de reducir drásticamente los errores de facturación, incrementando la precisión y, por ende, la recuperación de ingresos para las juntas. Esta optimización de recursos no solo fortalece la sostenibilidad financiera de la organización, sino que también libera tiempo del personal, que puede ser reasignado a tareas críticas de mantenimiento y operación de la red. De esta manera, el proyecto se alinea con la Meta 6.B de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que promueve explícitamente el apoyo y fortalecimiento de la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento (Naciones Unidas, 2015).

Finalmente, el proyecto presenta una clara justificación científica. Si bien existen soluciones genéricas de Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR), su rendimiento en condiciones no controladas (“in the wild”) es a menudo deficiente. La contribución de esta tesis radica en el desarrollo y la validación de un pipeline de visión artificial especializado para el dominio específico de los medidores de agua en contextos rurales, los cuales presentan una alta variabilidad de modelos, estados de deterioro, condiciones de iluminación y oclusiones parciales. La investigación aportará un dataset específico para esta tarea y analizará la eficacia de arquitecturas de modelos ligeros y técnicas de *data augmentation* para lograr la alta precisión ($\geq 98\%$) requerida. Por lo tanto, el trabajo no solo resuelve un problema práctico, sino que también contribuye con conocimiento aplicable al campo del OCR en entornos industriales desafiantes y en hardware con recursos limitados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo móvil que permita la lectura automática de medidores de agua potable mediante técnicas de procesamiento de imágenes, orientado a optimizar la gestión de

las JAAPS en el sector rural ecuatoriano.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión sistemática de la literatura sobre técnicas de detección de objetos y reconocimiento óptico de caracteres (OCR) aplicadas a la lectura de medidores, con énfasis en modelos optimizados para dispositivos móviles.
2. Construir un dataset de imágenes de medidores de agua potable, capturadas en condiciones reales de las JAAPS, que sirva para el entrenamiento y la validación de los modelos de inteligencia artificial.
3. Desarrollar e implementar un modelo de aprendizaje profundo para la detección y lectura de los dígitos del medidor, optimizado para una alta precisión y una baja latencia de inferencia en un entorno móvil.
4. Diseñar y desarrollar una aplicación móvil para la plataforma Android que integre el modelo de IA y ofrezca un flujo de trabajo completo, desde la captura de la imagen hasta el registro de la lectura de forma local.
5. Validar el prototipo en condiciones de campo controladas, evaluando su precisión, eficiencia y usabilidad en comparación con el método de lectura manual tradicional utilizado por las JAAPS.

1.5 Alcance y Limitaciones

A continuación, se definen las fronteras del presente trabajo de titulación, especificando tanto los entregables y funcionalidades que se desarrollarán, como los aspectos que quedan fuera del estudio.

1.5.1 Alcance del Proyecto

El alcance de esta investigación cubre los siguientes puntos:

- El desarrollo de un prototipo funcional de una aplicación móvil para la plataforma Android, capaz de capturar imágenes de medidores de agua.
- La creación de un dataset de imágenes propio, compuesto por fotografías de medidores de agua analógicos, recolectadas en condiciones de campo representativas de las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS) rurales.

- El entrenamiento y la optimización de un modelo de aprendizaje profundo (OCR), específicamente diseñado para la detección y lectura de los dígitos de los medidores de agua, y preparado para su ejecución local en el dispositivo móvil (offline).
- La implementación de un flujo de trabajo en la aplicación que permite al usuario capturar la imagen, recibir la lectura procesada por el modelo de IA y registrarla de forma local en el dispositivo.
- La validación técnica del prototipo en un entorno de campo controlado, donde se medirá y comparará su precisión y el tiempo de lectura frente al método manual tradicional.

1.5.2 Limitaciones de la Investigación

Para mantener el enfoque del proyecto, se establecen las siguientes limitaciones:

- El prototipo no es un sistema de gestión comercial completo. No incluirá funcionalidades avanzadas de facturación, gestión de abonados, o generación de reportes complejos, aunque su diseño permitirá la integración futura con dichos sistemas.
- El modelo de OCR se especializará en los medidores de tipo analógico (de reloj o dial) identificados en el estudio. No se abordará la lectura de medidores digitales ni de modelos analógicos con características muy atípicas que no formen parte del dataset.
- La aplicación móvil se desarrollará exclusivamente para la plataforma Android. No se crearán versiones para otros sistemas operativos como iOS.
- La validación se centrará en la viabilidad y el rendimiento técnico (precisión, eficiencia) del prototipo. No se realizará un estudio a largo plazo sobre el impacto socioeconómico de la adopción de la herramienta en las JAAPS.
- El despliegue y las pruebas de campo se realizarán con un número limitado y representativo de JAAPS, por lo que los resultados no pueden ser generalizados a todas las juntas del país sin estudios adicionales de escalabilidad.

1.6 Estructura del Documento

El presente trabajo de titulación se organiza en cinco capítulos, estructurados de la siguiente manera para presentar la investigación de forma lógica y coherente:

- **Capítulo 1: Introducción.** En el presente capítulo se ha contextualizado la problemática de la gestión del agua en las JAAPS rurales, se ha planteado el problema de la lectura

manual de medidores y se ha justificado la necesidad de la investigación desde una perspectiva tecnológica, social y científica. Además, se han definido los objetivos, el alcance y las limitaciones del proyecto.

- **Capítulo 2: Marco Teórico y Estado del Arte.** Este capítulo presentará una revisión sistemática de la literatura científica. Se abordarán los fundamentos de la visión por computadora, las arquitecturas de redes neuronales convolucionales para detección de objetos, y las técnicas de Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR), con un enfoque en su aplicación y optimización para dispositivos móviles.
- **Capítulo 3: Metodología.** Se detallará el plan de trabajo y el diseño experimental de la investigación. Se describirá el proceso de recolección y anotación de imágenes para la creación del dataset, la selección de la arquitectura del modelo de IA, las métricas de evaluación, y el protocolo diseñado para la validación del prototipo en condiciones de campo.
- **Capítulo 4: Desarrollo y Resultados.** En este capítulo se expondrá el proceso de desarrollo de la aplicación móvil y la implementación del modelo de IA. Posteriormente, se presentarán de manera objetiva los resultados obtenidos durante la fase de validación, incluyendo las métricas de precisión, eficiencia y una comparativa con el método manual.
- **Capítulo 5: Discusión.** Se realizará un análisis crítico y una interpretación de los resultados presentados en el capítulo anterior, poniéndolos en diálogo con la literatura científica y los objetivos de la investigación. Se examinarán las implicaciones de los hallazgos y el valor de la solución propuesta.

Capítulo dos

Marco Teórico

2.1 Gestión Comunitaria del Agua Potable y Saneamiento

Esta sección contextualiza el ámbito de aplicación del proyecto, centrándose en el modelo de gestión del agua en las zonas rurales del Ecuador, el cual es operado por organizaciones comunitarias.

2.1.1 *Las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento (JAAPS)*

Aquí se profundizará en el rol de las JAAPS como entidades de gestión. Se analizará su marco legal, su estructura organizativa y los procesos operativos que rigen su funcionamiento, poniendo especial énfasis en los desafíos que enfrentan actualmente.

Origen, marco legal y rol en el sector rural ecuatoriano. Se investigará el marco normativo que regula a las JAAPS en Ecuador, su historia y su importancia estratégica para garantizar el acceso al agua potable en comunidades rurales, alineándose con los planes de desarrollo nacionales.

Modelo de gestión: operación, administración y mantenimiento. Se describirá el ciclo de gestión típico de una JAAP, detallando los procesos de lectura de medidores, facturación, recaudación y mantenimiento de la infraestructura. El objetivo es identificar los cuellos de botella y las áreas de mejora.

Problemáticas operativas: la lectura manual y sus implicaciones. Análisis específico de la problemática central: el proceso de lectura manual de medidores. Se cuantificarán y describirán las ineficiencias asociadas, como los errores de digitación, los altos tiempos operativos y los costos administrativos derivados.

2.1.2 *Hacia la Digitalización de los Servicios Básicos Rurales*

Se abordará la transformación digital como una herramienta para superar las brechas de eficiencia en el sector rural, vinculando la tecnología con los objetivos de desarrollo sostenible.

Brecha digital en el contexto rural. Esta subsección explorará los desafíos de la implementación tecnológica en zonas rurales, considerando factores como la conectividad intermitente, la alfabetización digital y la disponibilidad de infraestructura.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6) y su relación con la gestión eficiente del agua. Se enmarcará el proyecto dentro de la Agenda 2030, específicamente en la Meta

6.B del ODS 6, que promueve el apoyo y fortalecimiento de la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

2.2 Fundamentos de Visión por Computadora para el Análisis de Medidores

Esta sección detalla las bases teóricas de la visión artificial que permitirán la correcta identificación y extracción de la lectura del medidor a partir de una imagen.

2.2.1 *Procesamiento Digital de Imágenes en Dispositivos Móviles*

Se estudiarán las técnicas necesarias para preparar la imagen capturada por la cámara del móvil antes de ser procesada por el modelo de IA, asegurando la calidad y consistencia de la entrada.

Adquisición y representación de la imagen: del sensor de la cámara al pre-procesamiento. Se analizará cómo las imágenes son capturadas y representadas digitalmente, y las primeras etapas de normalización requeridas para el análisis computacional.

Técnicas de pre-procesamiento para realce en condiciones de campo. Investigación sobre algoritmos de mejora de imagen (ajuste de contraste, brillo, corrección de perspectiva, eliminación de ruido) cruciales para manejar las condiciones variables de campo (luz solar, sombras, reflejos).

Segmentación de la región de interés (ROI): Localización del display del medidor. Se abordarán métodos para aislar automáticamente el área del contador numérico dentro de la imagen del medidor, separándola del resto del fondo para enfocar el análisis posterior.

2.2.2 *Modelos de Detección de Objetos*

Se revisarán las arquitecturas de aprendizaje profundo especializadas en localizar objetos, que en este caso se aplicarán para encontrar con precisión la región del contador.

Arquitecturas ligeras para inferencia en el borde (Edge AI). Estudio de modelos de redes neuronales (como MobileNet, EfficientDet) diseñados específicamente para ejecutarse de manera eficiente en dispositivos con recursos limitados, como los teléfonos móviles.

Métricas de evaluación para modelos de detección. Se definirán y justificarán las métricas de rendimiento (como IoU - Intersection over Union y mAP - mean Average Precision) que se utilizarán para evaluar la precisión del modelo de detección de la ROI.

2.3 Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) Aplicado

Esta sección se centra en el núcleo de la solución: las técnicas de OCR que permitirán "leer" los dígitos del medidor una vez que la región de interés ha sido localizada.

2.3.1 *Evolución de las Técnicas de OCR*

Se presentará una perspectiva histórica y conceptual del OCR, comparando los enfoques tradicionales con las soluciones modernas basadas en aprendizaje profundo para entender las ventajas de estas últimas.

Métodos clásicos basados en análisis de contornos y plantillas. Breve revisión de los algoritmos históricos de OCR para contextualizar el avance tecnológico en el área.

OCR basado en Deep Learning: el estándar actual. Se explicará por qué las redes neuronales convolucionales y recurrentes han superado a los métodos clásicos, gracias a su capacidad para aprender características robustas directamente de los datos.

2.3.2 *Arquitecturas Neuronales para el Reconocimiento de Texto*

Se investigarán las arquitecturas de redes neuronales específicas para la tarea de reconocer secuencias de caracteres, como los números en un medidor.

Redes Neuronales Convolucionales (CNN) para la extracción de características de los dígitos. Se describirá el papel de las CNN como extractores de características visuales de cada dígito individual en la imagen del contador.

Modelos de secuencia (CRNN) para la lectura de los números del medidor. Análisis de arquitecturas como CRNN (Convolutional Recurrent Neural Network) que combinan CNN con Redes Neuronales Recurrentes (RNN) para interpretar la secuencia de dígitos como un todo, mejorando la precisión contextual.

2.3.3 *Optimización de Modelos para Inferencia Local*

La ejecución en un móvil sin conexión a internet requiere modelos pequeños y rápidos. Esta sección explorará las técnicas para lograrlo.

TensorFlow Lite: Cuantización, delegación y rendimiento en Android. Investigación sobre el framework TensorFlow Lite, enfocándose en técnicas como la cuantización (reducción de la precisión de los pesos del modelo) y el uso de delegados (NNAPI, GPU) para acelerar la inferencia en el hardware de Android.

Data Augmentation para robustecer el modelo ante variaciones en los medidores. Se estudiarán técnicas de aumento de datos (rotaciones, cambios de iluminación, zoom sintético) para crear un conjunto de entrenamiento más diverso y robusto a partir de un número limitado de imágenes reales.

2.4 Desarrollo de Sistemas Móviles con Capacidades Offline

Esta sección cubre los conceptos de desarrollo de software necesarios para construir el prototipo de aplicación móvil, con un enfoque en la funcionalidad offline.

2.4.1 Arquitectura de Aplicaciones Android Modernas

Se revisarán los patrones de diseño y las herramientas recomendadas para construir una aplicación Android robusta, escalable y mantenible.

Componentes clave: Activities, ViewModels, CameraX para el control de la cámara. Estudio de los componentes fundamentales del SDK de Android y las librerías de Jetpack (como CameraX y ViewModel) que facilitarán el desarrollo de la aplicación.

2.4.2 Estrategias de Persistencia de Datos Offline-First

Dado que la conectividad en campo es poco fiable, la aplicación debe funcionar sin internet. Aquí se explorarán las estrategias para almacenar y gestionar los datos localmente.

Bases de datos locales. Análisis de las opciones de bases de datos embebidas en Android, principalmente SQLite y la capa de abstracción Room, para persistir las lecturas de los medidores y otros datos de la aplicación.

Patrones de sincronización de datos para entornos con conectividad intermitente. Se investigarán estrategias y patrones de software para gestionar la sincronización de los datos locales con un servidor central cuando el dispositivo recupere la conexión a internet.

2.5 Trabajos Relacionados y Estado del Arte

Esta sección final del marco teórico analizará la literatura científica y las soluciones existentes para la lectura automática de medidores, identificando las brechas y la contribución original de este proyecto.

2.5.1 Sistemas de Lectura Automática de Medidores (AMR/AMI)

Se revisarán los sistemas automáticos que dependen de hardware de comunicación especializado (como radiofrecuencia o PLC) para contextualizar dónde se ubica una solución basada en visión por computadora.

2.5.2 Aplicaciones de Visión por Computadora para la lectura de medidores

Búsqueda y análisis de trabajos de investigación que hayan propuesto soluciones similares basadas en el procesamiento de imágenes para leer medidores de agua, gas o electricidad.

2.5.3 Implementaciones de OCR en dispositivos móviles para casos de uso de campo

Se estudiarán aplicaciones de OCR móvil en otros dominios (lectura de placas, escaneo de documentos) para extraer lecciones aprendidas sobre los desafíos de la implementación en condiciones de campo no controladas.

2.5.4 Análisis comparativo de soluciones existentes

Se sintetizará la información recopilada, creando una tabla comparativa que evalúe las soluciones existentes en función de su precisión, velocidad, requisitos de hardware, dependencia de la nube y aplicabilidad al contexto de las JAAPS.

Conclusiones

Se redactan los puntos más sobresalientes, debilidades o fortalezas del proyecto o investigación, observados o descubiertos durante la ejecución del Trabajo de Integración Curricular, se recomienda redactar por cada conclusión, una recomendación.

Recomendaciones

En esta parte debes sugerir temas para futuras investigaciones y puedan aportar a la academia.

Referencias

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). (2025). *Agua No Contabilizada: Documento Técnico 2025* (inf. téc.) (Documento de trabajo sobre la gestión de pérdidas de agua en Ecuador). JICA.
- Carvalho, R., Melo, J., Graça, R., Santos, G., & Vasconcelos, M. J. M. (2023). Deep learning-powered system for real-time digital meter reading on edge devices. *Applied Sciences*, 13(4), 2315. <https://doi.org/10.3390/app13042315>
- Fieldeke, I. C., Schraven, A., & Jensen, C. B. (2021). Barriers to the Digital Transformation of Rural Water Services in Sub-Saharan Africa. *Water*, 13(16), 2273. <https://doi.org/10.3390/w13162273>
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Consultado el 16 de junio de 2025]. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Roa-García, M. C., Brown, S., & Urquijo, J. (2019). Water Governance in Latin America: A Look at the Water-Energy-Food Nexus. *Water*, 11(1), 131. <https://doi.org/10.3390/w11010131>
- Toma, C., Márquez, W., Pumisacho, V., Aldás, M., & Márquez, M. (2020). Factors Affecting the Sustainability of Rural Drinking Water Services in the Andean Region of Ecuador. *Sustainability*, 12(23), 9964. <https://doi.org/10.3390/su12239964>