

Use of artificial intelligence and drones for the design of electrical networks.

Uso de Inteligencia artificial y Drones para el diseño de redes eléctricas.

Autores:

Ing. Elec. Barrera Parra, Rubén Eduardo
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica
Cuenca – Ecuador



rebarrera93@gmail.com



<https://orcid.org/0000-0002-0078-7240>

Ing. Méndez Martínez, Carlos, Mgs.
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Cuenca – Ecuador



cmendez@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-2028-4966>

Ing. Elec. Cobos Torres, Juan Carlos, Ph.D.
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente e Investigador de la Carrera de Ingeniería Eléctrica y Posgrado
Cuenca – Ecuador



juan.cobos@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-8153-8379>

Citación/como citar este artículo: Barrera, Rubén., Méndez, Carlos. y Cobos, Juan. (2023). Uso de Inteligencia artificial y Drones para el diseño de redes eléctricas. MQRInvestigar, 7(1), 155-187.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.155-187>

Fechas de recepción: 29-DIC-2022 aceptación: 15-ENE-2023 publicación: 15-MAR-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

En la actualidad, los recursos de personal, de tiempo y económicos que implica realizar el diseño correcto de redes eléctricas de distribución es elevado, sobre todo en países en los cuales se cuenta con una topografía montañosa y con un paisaje urbanístico cambiante. Por lo mismo, se presenta el desarrollo de un método y una herramienta para optimizar el diseño de la red de distribución de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. La metodología propuesta involucra el uso de drones para la generación de ortomapas, estos proporcionan una ayuda visual y de precisión al momento de realizar diseños de redes de distribución. La presente iniciativa además implica el desarrollo de un algoritmo de IA (inteligencia artificial), que posibilite reconocer las construcciones de medio voltaje para obtener un desglose de materiales de la red de repartición que existe de manera automática y en tiempo limitado. La metodología se aplicó a 3 diseños de redes eléctricos del área de concesión de la Centrosur C.A., con una longitud acumulada de 8 km y 73 postes existentes. De los cuales, el algoritmo de inteligencia artificial logró detectar exitosamente el 55%, por lo que se concluyó que los algoritmos de categorización de imágenes no ofrecen resultados confiables al instante de detectar construcciones de medio voltaje. Sin embargo, la utilización de las ortofotos presentó enormes beneficios al instante de hacer el diseño de la red proyectada, permitiendo tener en cuenta recursos del terreno como vegetación y viviendas. La utilización de esta metodología permitió minimizar en un 33% el tiempo requerido para el diseño de las redes eléctricas analizadas.

Palabras claves: Redes de distribución, Inteligencia artificial, Dron, Ortomapas.

Abstract

Currently, the personnel, time, and economic resources involved in carrying out the correct design of electrical distribution networks are high, especially in countries with mountainous topography and a changing urban landscape. For this reason, the development of a method and a tool is presented to optimize the design of the electrical energy distribution network of the electrical company Centrosur C.A. The proposed methodology involves the use of drones for the generation of orthomaps, these provide a visual and precision aid when designing distribution networks. This initiative also involves the development of an AI (artificial intelligence) algorithm, which makes it possible to recognize medium voltage constructions to obtain a breakdown of materials from the distribution network that exists automatically and in a limited time. The methodology was applied to 3 electrical network designs in the concession area of Centrosur C.A., with a cumulative length of 8 km and 73 electrical poles. Of which, the artificial intelligence algorithm managed to detect 55% successfully, so it was concluded that image categorization algorithms do not offer reliable results when detecting medium voltage constructions. However, the use of orthophotos presented enormous benefits when designing the projected network, allowing to take into account land resources such as vegetation and houses. The use of this methodology allowed for minimizing by 33% the time required for the design of the electrical networks analyzed.

Keywords: Distribution networks, Artificial intelligence, Drone, Orthomaps.

Introducción

La tecnología de drones o vehículos aéreos no tripulados UAV por sus siglas en inglés, data desde la primera guerra mundial y hasta el año 2006 se usaban como equipamiento militar. En este año, Federal Aviation Administration (FAA) de los Estados Unidos emitió los permisos comerciales para los UAV, desde entonces se ha venido desarrollando innumerables aplicaciones en el campo de la ingeniería, como es el caso de la ingeniera civil (O. Del Río-Santana, 2019) (Córdoba, 2017) (Sulca & Peña, 2020); en esta área se usan UAV's para obtener información topográfica actualizada y de gran precisión. El uso de estos vehículos no tripulados conlleva una notable reducción de tiempo en el análisis espacial, hidrológico (Valence, Baraer, Rosa, Barbecot, & Monty, 2022) y topográfico (Lee & Yosoon, 2016). Otra área de aplicación es en el sector agrícola (Ojeda-Bustamante, 2017) (Ahirwar, Srinivas, Swarnkar, & Namwade, 2019) (Murugan, Garg, & Singh, 2017), pues debido a los sensores que incorporan se puede analizar la vegetación; por ejemplo, mediante imágenes multiespectrales de alta resolución se puede detectar áreas de interés de riego y estado de salud de la plantación. Otra área es la deforestación y degradación forestal (Reason Mlambo, 2017), mediante un modelo digital de terreno (MDT) (Valverde & Appel, 2018) (Guisado-Pintado, Jackson, & Rogers, 2019); se puede conocer las diferentes alturas de los árboles monitoreando el crecimiento forestal por áreas. En el área de la ingeniería eléctrica, los UAV's se utilizan en el monitoreo de redes de transmisión y subtransmisión (Javier Guacho Remache, 2018) (Saravia & Cáceres., 2021) (Liu, Shi, Zhong Liu, Huang, & Zhou, 2019) (Sărăcin, Dragoș, & Chirilă, 2017), mediante cámaras termográficas se puede detectar aisladores en mal estado o fugas de corriente. Lo cual, permite inspeccionar toda la línea sin tener que acercarse a ella, el personal de mantenimiento se encuentra ubicado en una posición segura en el suelo y claro, ejecutando la inspección en un tiempo mucho menor; sin embargo, aún existen sectores dentro del área de la ingeniería eléctrica en los que se puede aprovechar los beneficios de los drones. En el caso del presente trabajo, se aplicará drones en el área de distribución, centrándose en el diseño de redes eléctricas de distribución en medio voltaje. Puntualmente, para diseños que se realicen dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

El procedimiento inicia mediante el vuelo de un dron para capturar imágenes georreferenciadas de un sector en el cual se vaya a realizar un tendido de red, o una mejora de la red eléctrica, con lo cual, se obtiene un ortomapa que contendrá información actualizada y con una alta precisión, permitiendo tener un mejor panorama del área de diseño, a su vez las imágenes obtenidas del dron serán procesadas con algoritmos de visión artificial para reconocer de manera automática las diferentes estructuras de medio voltaje para obtener un desglose de materiales de la red existente, automatizando el proceso que actualmente se realiza de forma manual.

Este procedimiento tiene como finalidad reducir los tiempos de diseño y mejorar la precisión en el desglose de materiales y en el diseño de la red.

Para realizar este procedimiento será necesario diferentes programas ya que actualmente no existe un solo sistema que pueda realizar todas estas tareas de manera íntegra, por lo cual es necesario realizar una planificación de vuelo previa a la captura, luego con imágenes obtenidas se realiza dos procesamientos, del primero se obtiene le ortomapa y del segundo el reconocimiento de las estructuras medio voltaje existentes en la red.

Material y métodos

La ejecución de los diseños eléctricos se puede mejorar mediante el uso de nuevas tecnologías. Con el fin de reducir y simplificar procesos, especialmente aquellos que son repetitivos o que consumen mucho tiempo. Además, se puede evitar que el personal realice movilizaciones innecesarias durante las fases de revisión y diseño mediante la implementación de estos cambios.

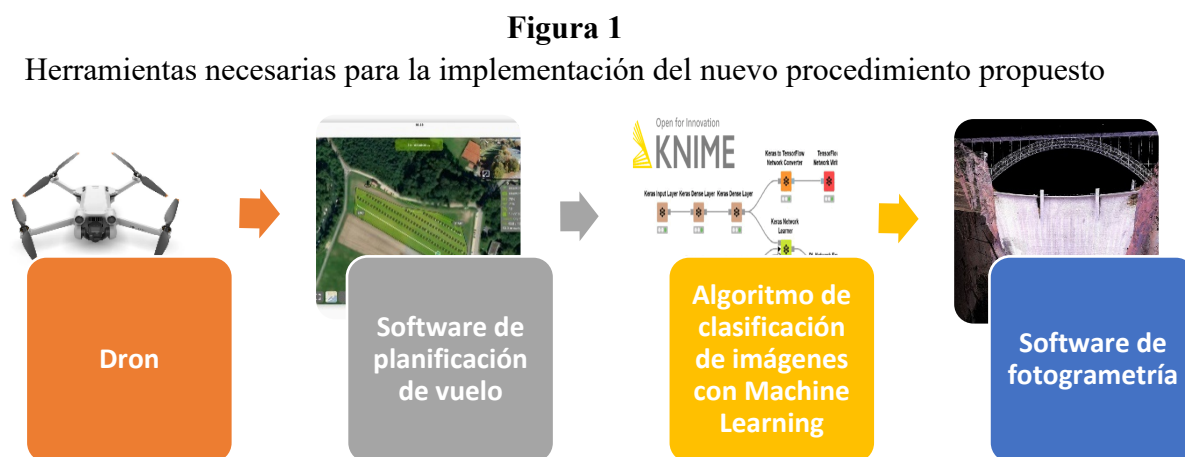
Al implementar drones e Inteligencia artificial para el reconocimiento de estructuras, se mejorará el proceso de desglose de materiales y con el uso de ortofotos, se reduce la necesidad de movilizar al personal al tener imágenes y datos actualizados del área de diseño.

1. Procedimiento para la optimización de diseños eléctricos.

Para poder aprovechar las ventajas de las nuevas tecnologías para la optimización del diseño eléctrico en redes de distribución, es necesario mejorar el procedimiento tradicional, en particular en las Etapas 1 y 2 (levantamiento de la red existente y diseño de la red proyectada).

1.1. Nuevo procedimiento para optimización de la Etapa 1

Para implementar este nuevo procedimiento se necesita las herramientas detalladas en la **Figura 1**.



Fuente: Autores.

El proceso comienza con la obtención de datos del área de diseño, donde se necesita conocer la longitud de la red, la altimetría y el sector en el que se encuentra. A continuación, se deben obtener las coordenadas de los postes para planificar el recorrido del dron. Estas coordenadas se cargan en el software de planificación de vuelo, donde se trazan las rutas de vuelo y se establecen los puntos de despegue y aterrizaje. Una vez que se han planificado las rutas, se puede simular el vuelo para verificar que los parámetros estén bien configurados.

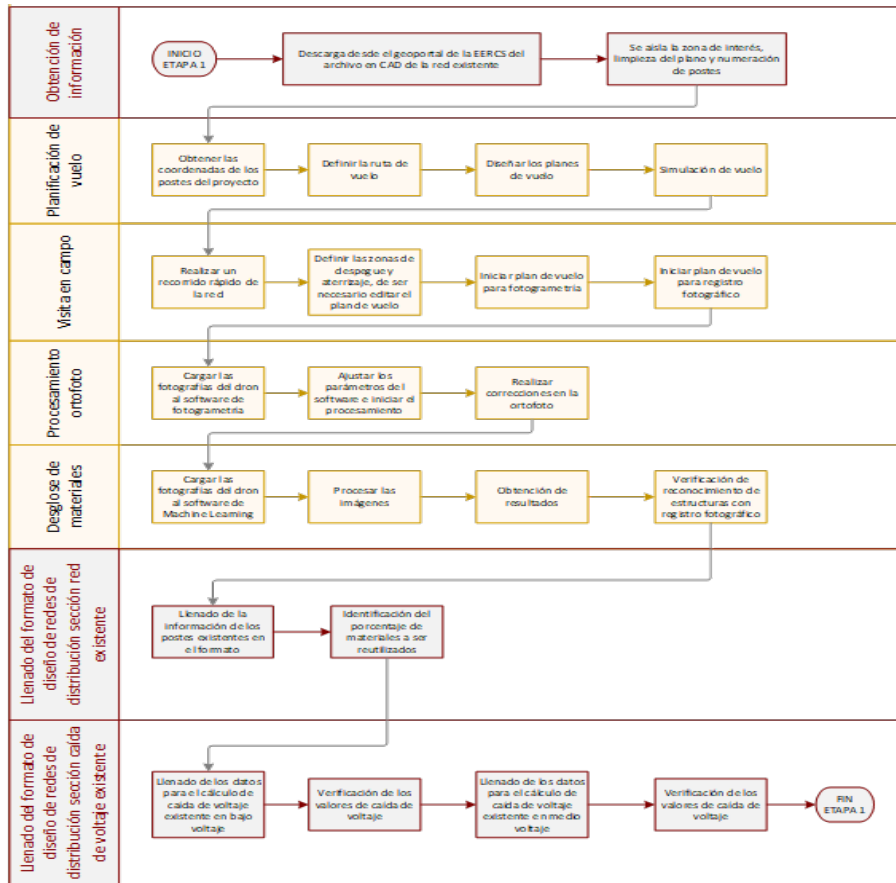
Luego de recolectar los datos en el terreno, se extraen las imágenes del dron. Estas se utilizan de dos maneras: en primer lugar, se analizan las fotografías detalladas de los postes utilizando un algoritmo de clasificación de imágenes para determinar los materiales de los postes. En segundo lugar, se utilizan las fotografías tomadas durante el vuelo del dron para crear una ortofoto mediante el procesamiento de un software de fotogrametría. Esta ortofoto será útil para la revisión de la red existente y para el diseño de la red propuesta.

Se puede ver en la

Figura 2 un enfoque nuevo para la Etapa 1 (Levantamiento de la red existente), donde los bloques marcados en rojo oscuro son los pasos y procedimientos tradicionales que se mantienen. Los bloques marcados en naranja, muestran los nuevos pasos y procesos que se aplican utilizando las herramientas propuestas en esta metodología.

Figura 2

Nuevo procedimiento para el levantamiento de la red existente, Etapa 1.

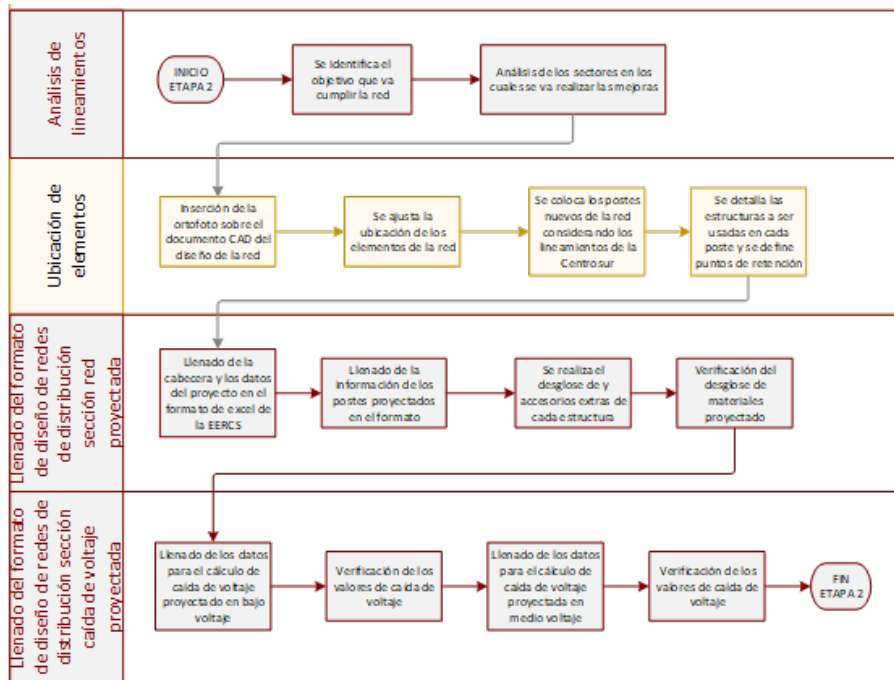


Fuente: Autores.

De igual manera, se puede visualizar en la **Figura 3**, el nuevo procedimiento para la Etapa 2 (Diseño de la red proyectada), los bloques marcados en color rojo oscuro y naranja, al igual que en la **Figura 2** son los pasos y procedimientos tradicionales que se mantienen y los nuevos pasos y procesos, respectivamente. En esta etapa, el uso de la ortofoto reduce la necesidad de realizar verificaciones del diseño proyectado en campo, también proporciona ayuda visual y precisión al momento de ubicar elementos como postes y tensores, otra de sus ventajas es la de poder visualizar si las líneas eléctricas invadirán predios o zonas arboladas.

Figura 3

Nuevo procedimiento para el diseño de la red proyectada, Etapa 2.



Fuente: Autores.

El dron a ser usado para la implementación de esta metodología es el modelo Mavic Pro Platinum de la marca DJI, este equipo dispone de una autonomía de vuelo de 30min por batería y cuenta con 3 baterías, un alcance de 4 km y una cámara de 12 megapíxeles. Ver **Figura 4**.

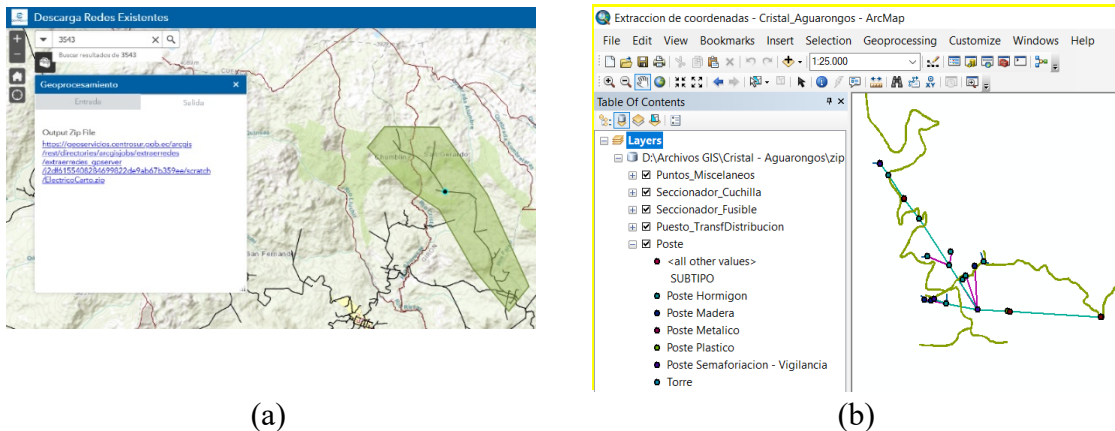
Figura 4
Dron DJI Mavic Pro Platinum.



Fuente: Autores.

Para la obtención de las coordenadas de los postes, se necesita descargar el archivo SIG del Geoportal de la Centrosur C.A, que vaya de acuerdo al área de diseño. La **Figura 5a** muestra la descarga del archivo SIG del área de diseño correspondiente al proyecto de la parroquia San Fernando en el sector de Cristal-Aguarongos.

Figura 5
Geoportal de la Centrosur C.A.– Proyecto Cristal Aguarongos: a) descarga de archivo SIG, b) archivo descargado desde el Geoportal, abierto en ArcMap



Fuente: Autores.

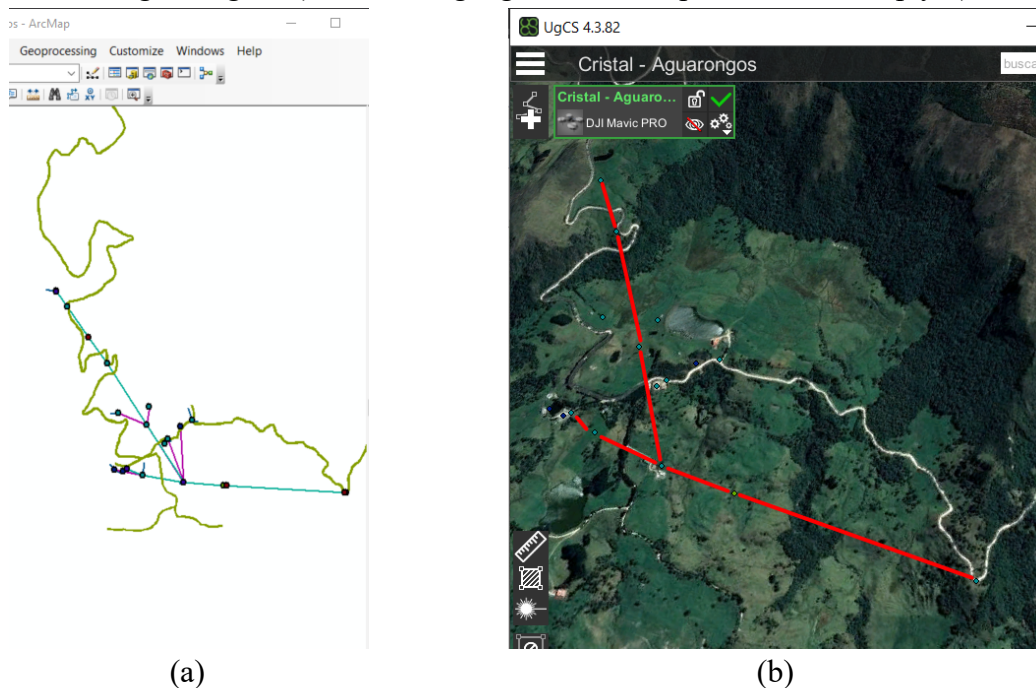
Una vez que se descargue el archivo SIG, deberá abrirlo con el software ArcMap. Dentro de este software se abrirán varias capas agrupadas por tipo de elementos. Una de ellas es la capa "poste", que contiene toda la información de cada poste. Para planificar el vuelo del dron, se necesitan las coordenadas geográficas de los postes. Para obtener esta información, es necesario exportar la capa "poste" a un archivo KML o KMZ, que es el formato aceptado por el software UGCS (ver **Figura 5b**).

Para obtener las coordenadas geográficas de los postes, es necesario utilizar la herramienta "Layer to KML". Esta herramienta permite exportar una capa de un mapa en ArcMap a un archivo KMZ con todas sus características originales.

En la **Figura 6a**, se puede ver la ventana de ArcMap con la red existente de Cristal-Aguarongos, y la **Figura 6b** se puede ver el archivo KMZ exportado y cargado en UGCS. De esta manera, se obtienen los puntos GPS de los postes para poder realizar los planes de vuelo del dron.

Figura 6

Proyecto Cristal Aguarongos: a) ubicación geográfica de los postes en ArcMap y b) UGCS

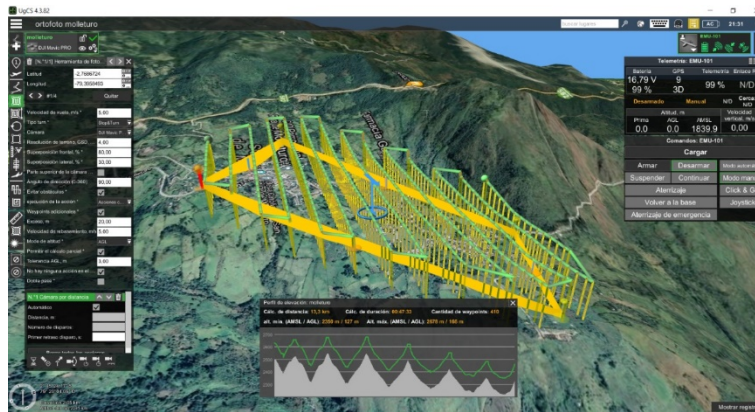


Fuente: Autor.

La planificación de los vuelos del dron se realiza utilizando el software UGCS. La versión de pago de este software permite cargar puntos GPS y realizar simulaciones de los vuelos trazados utilizando la telemetría y las especificaciones del dron DJI Mavic Pro Platinum. La **Figura 7** muestra un plan de vuelo para fotogrametría de la parroquia de Molleturo. En este plan de vuelo se puede ver una línea verde que representa la ruta que seguirá el dron. En la parte inferior de la imagen, se puede ver el perfil de elevación del terreno y el ajuste de vuelo del dron para mantener una altura de 90 metros sobre el perfil de elevación. En la sección derecha, se puede ver la telemetría del dron que se activará al iniciar la simulación. En la parte izquierda, se encuentran los parámetros que se pueden ajustar para configurar el vuelo del dron.

Figura 7

Plan de vuelo para fotogrametría en la parroquia Molleturo.



Fuente: Autores.

2. *Procesamiento de imágenes.*

El procesamiento de imágenes se divide en dos categorías: el primer grupo se ocupa del procesamiento de imágenes tomadas desde alturas elevadas, con el objetivo de generar ortofotos del terreno; el segundo grupo, en cambio, se encarga del procesamiento de imágenes tomadas de los postes, con el fin de obtener un desglose de los materiales utilizados en su construcción. Cada grupo, se procesa con un software diferente; a continuación, se describen los programas utilizados para procesar estos dos grupos de imágenes.

A. *Web ODM.*

WebODM es un software de código abierto que se utiliza para realizar el procesamiento fotogramétrico. Requiere de una instalación con líneas de comando y se ejecuta de manera local a través de un navegador web. Con WebODM, es posible procesar imágenes para obtener ortofotos, curvas de nivel, modelos 3D y nubes de puntos, toda esta información en un solo proceso. Los datos generados sirven para tener una visión más clara de la geografía del terreno, lo que contribuye a mejorar el diseño de la red proyectada.

B. *Ortofoto.*

Para crear la ortofoto, es necesario contar con todas las imágenes capturadas por el dron durante el vuelo. Estas imágenes, se cargarán en un nuevo proyecto creado en WebODM, y se debe configurar el nodo de procesamiento en "Auto", para que se procese de forma automática en el ordenador.

2.1. *Algoritmo de clasificación de imágenes.*

Este algoritmo se basa en el código fuente generado por Teachable Machine, una plataforma de código abierto que permite entrenar modelos de aprendizaje automático de forma fácil, sin necesidad de escribir largas líneas de código. Se ha entrenado un modelo con un total de 1401 imágenes de las diferentes estructuras monofásicas y trifásicas utilizadas en las redes de distribución.

Las imágenes utilizadas para el entrenamiento se obtuvieron en la ciudad de Cuenca, de las redes de distribución de la empresa eléctrica Centrosur C.A. Tienen un tamaño aproximado de 150x150 píxeles, y han sido capturadas desde el suelo para evitar elementos externos a la estructura. De esta manera, es más fácil para el algoritmo de inteligencia artificial reconocer la forma de una estructura, lo que aumenta la precisión del modelo. En la **Figura 8**, se puede visualizar una estructura monofásica centrada de paso usada en el entrenamiento del algoritmo de Machine Learning.

Figura 8

Fotografía usada para el entrenamiento de Machine Learning – estructura 1CP.

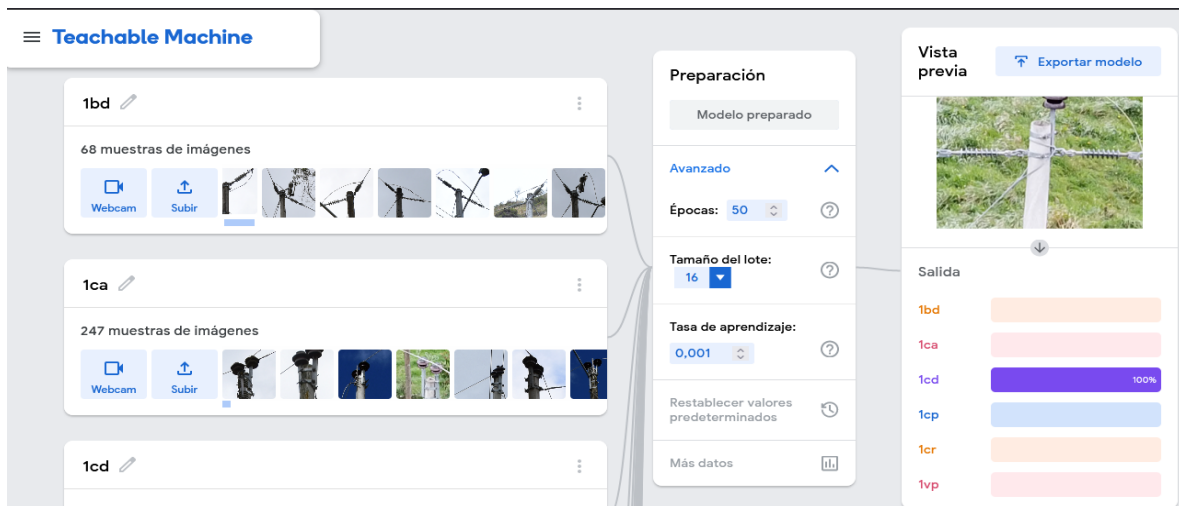


Fuente: Autores.

El modelo se entrenó con una configuración de 50 épocas, un tamaño de 16 muestras y la tasa de aprendizaje en un valor de 0.001. En la **Figura 9**, En la interfaz de entrenamiento se pueden observar los valores mencionados, mientras que en la parte derecha de la ilustración se puede ver una imagen de prueba y el porcentaje de reconocimiento de la estructura en relación al modelo generado.

Figura 9

Interfaz de entrenamiento de Teachable Machine



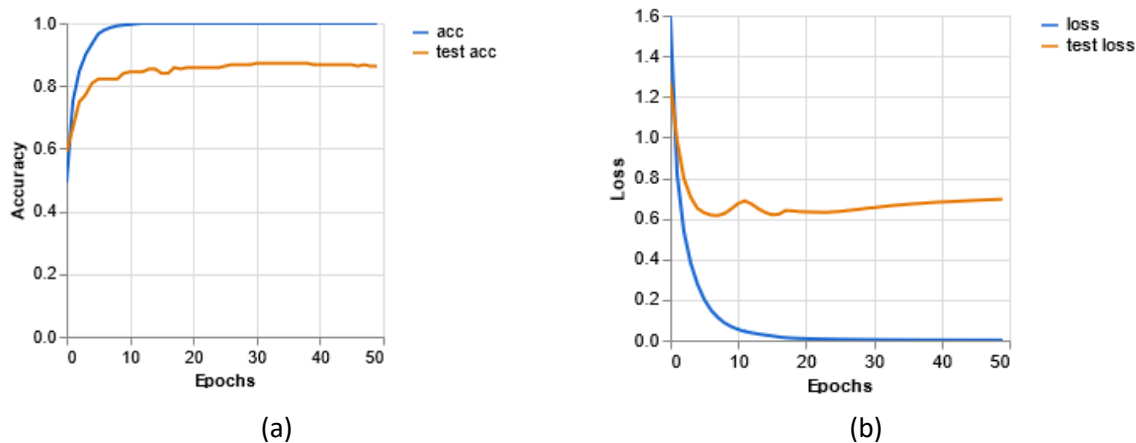
Fuente: Teachable Machine – Entrenamiento.

En la **1a**, se puede apreciar la precisión por época del modelo generado en Teachable Machine, en color naranja se muestra la precisión del modelo generado con un porcentaje de precisión del 87%; en color azul se muestra una curva de precisión ideal. Esto nos indica que el entrenamiento de nuestro modelo tiene un 87% de precisión. En la **1b**, se puede apreciar la pérdida por época generada en Teachable Machine, en color azul se muestra una curva ideal de pérdida, en color naranja la curva de pérdida del modelo usado con un valor máximo de 0.69 en la época 50. La pérdida por época indica el nivel de aprendizaje del modelo, mientras más cercano a cero mejores serán las predicciones y mayor será la confiabilidad del modelo.

En la 1a En la ilustración se puede ver la precisión del modelo generado en Teachable Machine a lo largo de las épocas de entrenamiento. La curva de precisión del modelo generado se muestra en color naranja, con un porcentaje de precisión del 87%; en color azul se muestra una curva de precisión ideal. Esto indica que el entrenamiento de nuestro modelo tiene una precisión del 87%. En la 1b, En la ilustración se puede ver la pérdida generada en Teachable Machine a lo largo de las épocas de entrenamiento. La curva de pérdida ideal se muestra en color azul, mientras que la curva de pérdida del modelo utilizado se muestra en color naranja, con un valor máximo de 0.69 en la época 50. La pérdida por época indica el nivel de aprendizaje del modelo: cuanto más cercana a cero sea la pérdida, mejores serán las predicciones y mayor será la confiabilidad del modelo.

Gráfica 1

Entrenamiento: (a) Precisión por época; (b) Perdida por época



Fuente: Teachable Machine – Entrenamiento

El modelo generado por la interfaz de capacitación se puede exportar y modificar, o cargar en Google Cloud, acceder a través de un enlace, y el modelo se puede descargar en Python o JavaScript.

2.2. Desglose de materiales.

El algoritmo de inteligencia artificial que realiza la descomposición de materiales se puede ejecutar desde cualquier tipo de navegador web ya que es un archivo HTML codificado en JavaScript. El algoritmo permite subir imágenes de postes de servicios públicos, ya sea que hayan sido tomadas con un dron o con cualquier cámara, es importante señalar que para que la identificación sea precisa, las fotos deben ser de estructuras de media tensión y tratar de evitar mostrar otros elementos. Después de cargar las imágenes, haga clic en el botón de proceso y el algoritmo reconocerá las imágenes una por una y proporcionará un resultado para cada estructura identificada y una lista de materiales correspondientes a todas las estructuras identificadas. En la **Figura 10**, puede ver la interfaz del algoritmo que se ejecuta en el navegador Mozilla Firefox.

Figura 10

Captura de pantalla del algoritmo de reconocimiento de estructuras.

Botones de acción

Imágenes cargadas

Estructuras identificadas

Lista de materiales

Materiales	Cantidad
Isolador tipo Pin de porcelana Clase ANSI 36.1, 23kV	3
Perno pin punta de poste (tacho), 70 mm x 450 mm	2
Alvaradera de acero galvanizado, plana, simple 38 x 4 x 140 x 150mm	4
Conductor desnudo sólido de Al para alturas, No. 4 AWG	6
Cinta de armaz de aleación de Al, 1,27 mm (3/64") de esp. x 7,62 mm	6
Alvaradera de acero galvanizado, plana, doble 38 x 4 x 130 x 150 mm	1
Asulador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI 105-26, 23 kV	5
Alvaradera de acero galvanizado, plana, simple 38 x 4 x 130 x 150mm	4
Isolador "U" para suspensión, 16 mm x 75 mm	3
Cinta - horquilla - guardacabo, de acero galvanizado	5
Rotación preformada para conductor de Al	5
Fuerza de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm	3
Perno espiga (pin) corto de acero galvanizado, 19 mm x 300 mm	3
Cruce de hierro ángulo galvanizado de 76.2*76.2*6*2000 mm	1
Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38 x 38 x 6 x 1800 mm	1
Isolador "U" para suspensión, 16 mm x 75 mm	2
Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm x 51 mm, con tuerca, arandela plana y de presión	1
Alvaradera "u" de varilla galvanizada 15.87 x 150 mm con 2 tornos, 2 arandelas planas y 2 de presión	1

Fuente: Autores.

Resultados

El método desarrollado se utilizó en tres proyectos de la Centrosur C.A. que han sido aprobados en la etapa de diseño. En estos proyectos, se han analizado los beneficios de utilizar drones, ortofotos e inteligencia artificial y se han comparado con los resultados de los métodos de diseño tradicionales. Los nombres y detalles de los proyectos, incluyendo su longitud, ubicación y cantidad de postes de medio voltaje, se pueden encontrar en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Listado de proyectos en los que se implementó la metodología propuesta.

Nombre del proyecto	Longitud de red de medio voltaje (km)	Ubicación	Cantidad de postes existentes con estructuras de medio voltaje
Línea 1F San Gerardo – Cristal – Aguarongos	3.5	Rural	7
	<p>Ubicación: parroquia de San Fernando a una hora del cantón Girón, Objetivo: reubicar la red de medio voltaje, ya que actualmente se encuentra fuera de la vía e invadiendo terrenos, sector poco poblado con 13 abonados y 2 transformadores en la red de bajo voltaje. La</p>		
Línea 1F Chumblin – Cisne - Liquiña	2.5	Rural	20
	<p>Ubicación: parroquia de San Fernando a una hora del cantón Girón. Objetivo: reubicar la red de medio voltaje, ya que actualmente se encuentra fuera de la vía e invadiendo terrenos, el sector es poblado con 83 abonados y 5 transformadores en la red de bajo voltaje. En la Fuente: Autores. Figura 14, se puede ver la red existente del proyecto, representada por la línea verde que es la red monofásica de medio voltaje. Además, se puede observar cómo los postes que sostienen la línea están fuera de la vía, lo que dificulta el acceso para tomar fotografías de ellos. Una vez más, es aquí donde el uso de un dron facilita la captura de imágenes de los postes.</p>		
Alimentador 1722 – Los Cerezos	2	Urbano	68
	<p>Ubicación: ciudad de Cuenca, parroquia San Sebastián en el sector de la vía al Tejar.</p>		

Objetivo: diseñar la salida de la subestación proyectada de Los Cerezos, con una red trifásica que servirá de alimentador para las redes de medio voltaje que cruzan por el sector.

En la **Fuente:** Autores.

Figura 17, se puede ver en color azul las redes de medio voltaje existentes en el sector, mientras que la línea de color rojo representa la ruta que deberá seguir el nuevo alimentador 1722. En este proyecto, se puede apreciar cómo el archivo incluye la cartografía con los predios del área, lo que es útil para ubicarse físicamente en el sector.

Fuente: Autores.

3. Obtención de datos

En la Tabla 2, se puede observar el detalle explicado de los proyectos analizados mediante la propuesta realizada.

Tabla 2

Detalle de obtención de datos de cada proyecto.

Proyecto	Línea 1F San Gerardo – Aguarongos partes / altura / fotografías	Línea 1F Chumblin – Cisne – Liquiña partes / altura / fotografías	Alimentador 1722 – Los Cerezos partes / altura / fotografías
Se aprecia (a simple vista en el plano existente), detalle de vegetación, viviendas cercanas a la vía o desniveles que se deban considerar en el diseño proyectado	NO	NO	NO
El plan de vuelo para fotogrametría se realizó en:	4 / 70m / 877.	6 / 70m / 698.	4 / 70m / 736.
El plan de vuelo para archivo fotográfico se realizó en:	1 / 15m / 7 (poste con estructuras de medio voltaje).	3 / 15m / 20 (poste con estructuras de medio voltaje).	4 / 15m / 46 (poste con estructuras de medio voltaje).
El tiempo total empleado en la recolección de datos fue (sin considerar el traslado hacia el sector).	3 horas	4 horas	5 horas
El tiempo de procesamiento para la obtención de la ortofoto fue de (computador Intel Core i7-7700HQ con 8 núcleos a 2.8Ghz, 16Gb de RAM y tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 1060):	17 horas	14 horas	15 horas
El tiempo de procesamiento de imágenes para la obtención del desglose de materiales fue de:	5 minutos.	8 minutos.	22 minutos.
Plan de vuelo UGCS, ortofoto WebODM.	Figura 12,		Fuente: Autores. Figura 18 , Fuente: Autores. Figura 19

Figura 15, Fuente: Autores.

Figura 16

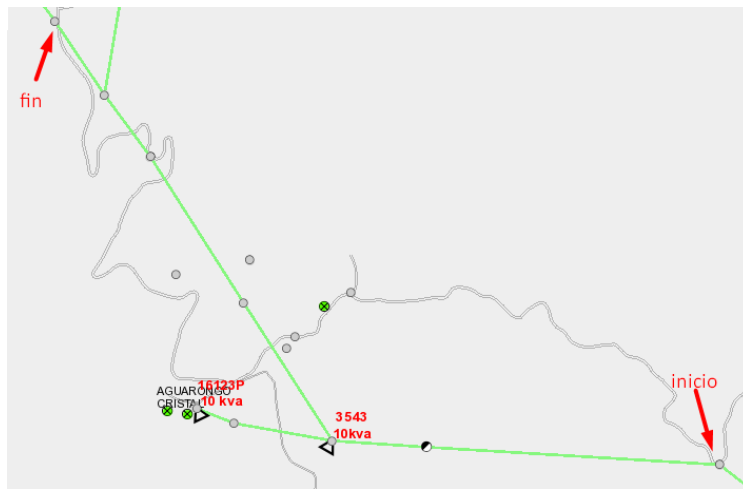
Figura 13

Observaciones	En la ortofoto se puedo observar que varios sectores de la vía se encuentran con vegetación y con viviendas al filo de la vía que no respetan la línea de fábrica.	En la ortofoto, se puede observar a detalle las entradas peatonales y garajes de las viviendas, además de tapas de alcantarillas y viviendas fuera de la línea de fábrica.
----------------------	--	--

Fuente: Autores

Figura 11

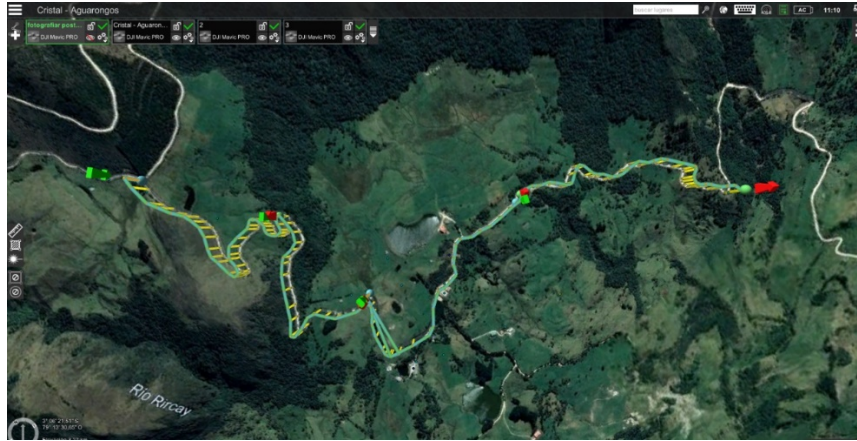
Red de distribución del proyecto San Gerardo – Cristal – Aguarongos obtenida del Geoportal de la Centrosur.



Fuente: www.geoinformacion.centrosur.gob.ec

Figura 12

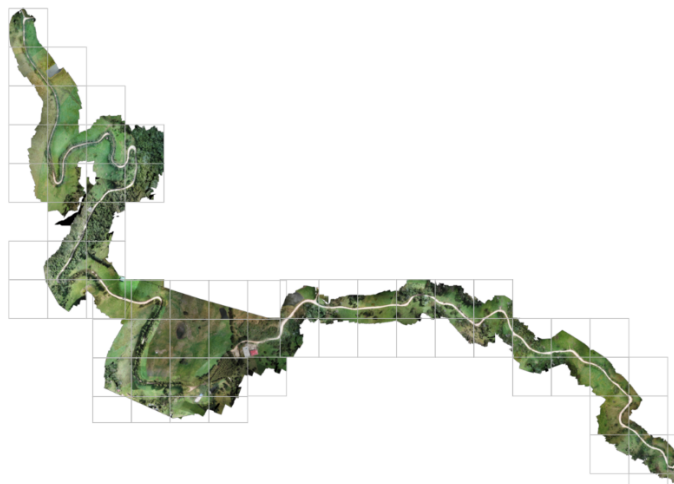
Plan de vuelo creado con el software UGCS. Proyecto San Gerardo – Cristal – Aguarongos.



Fuente: Autores.

Figura 13

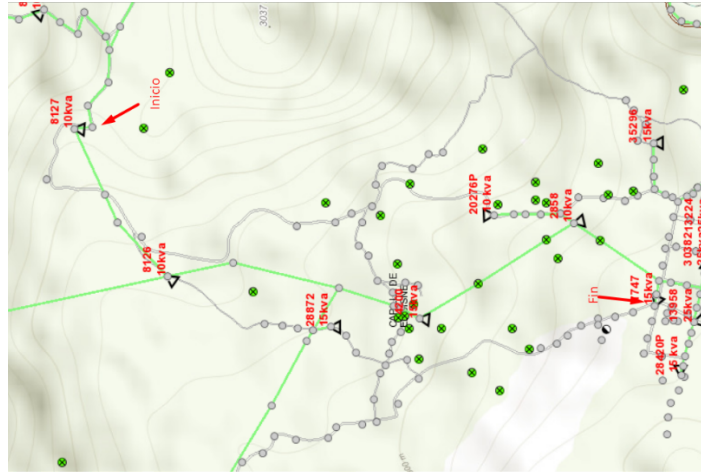
Ortofoto generada con el software WebODM. Proyecto San Gerardo – Cristal – Aguarongos.



Fuente: Autores.

Figura 14

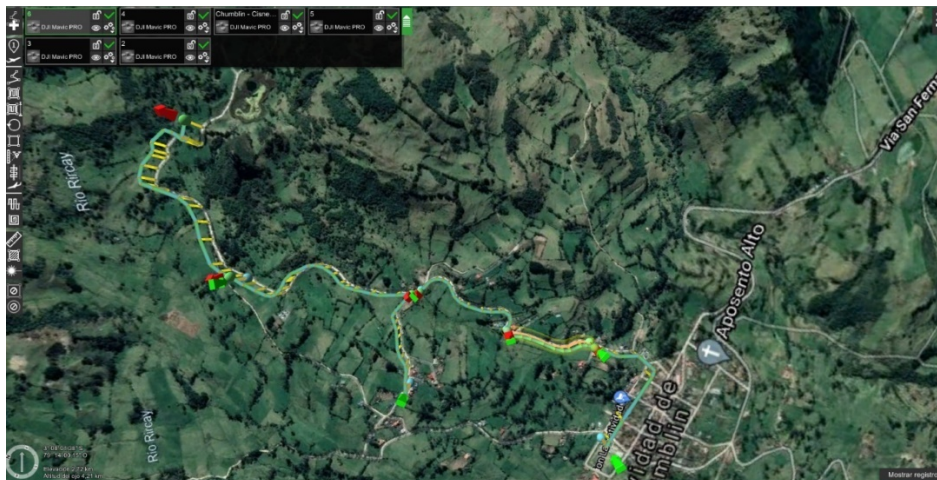
Red de distribución del proyecto Chumblin – Cisne – Liquiña obtenida del Geoportal de la Centrosur.



Fuente: www.geoinformacion.centrosur.gob.ec

Figura 15

Plan de vuelo creado con el software UGCS. Proyecto Chumblin – Cisne – Liquiña.



Fuente: Autores.

Figura 16

Ortofoto generada con el software WebODM. Proyecto Chumblin – Cisne – Liquiña.



Fuente: Autores.

Figura 17

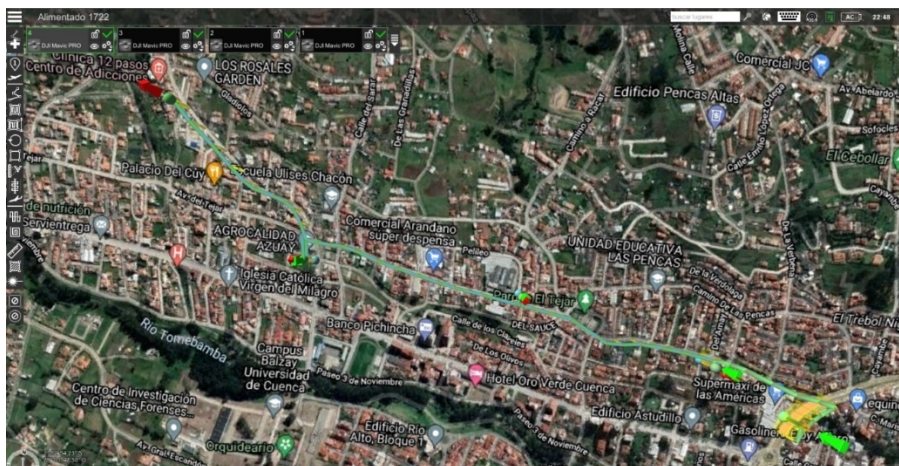
Alimentador 1722 de la subestación proyectada de Los Cerezos.



Fuente: Autores.

Figura 18

Plan de vuelo creado con el software UGCS. Proyecto alimentador 1722.



Fuente: Autores.

Figura 19

Ortofoto generada con el software WebODM. Proyecto alimentador 1722.



Fuente: Autores.

Discusión

La discusión se organiza en tres secciones. La primera sección evalúa los beneficios y desventajas de usar una ortofoto para diseñar una red de distribución. La segunda sección compara el tiempo requerido para el desglose tradicional de materiales versus el uso de un algoritmo de inteligencia artificial. Finalmente, la tercera sección compara los tiempos de diseño utilizando el método tradicional y el método propuesto.

4. Implementación de la ortofoto en el diseño de redes de distribución.

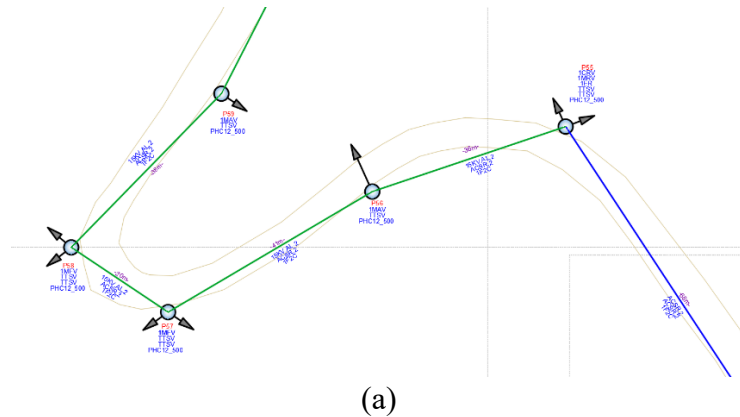
La ortofoto ayudó a mostrar claramente el terreno donde se colocarían las nuevas redes en proyectos rurales. En el proyecto Cristal - Aguarongos, ayudó a identificar áreas con densa vegetación que obstaculizarían la red, permitiendo tomar decisiones directamente desde la oficina con la participación de los administradores del proyecto para alcanzar a una solución viable.

En la **Figura 20a**, se muestra el diseño planificado del carretero y la red para el proyecto San Gerardo - Cristal - Aguarongos, pero no incluye información sobre las características del terreno como la elevación o la vegetación que podrían afectar el proceso de construcción.

En la **Figura 20b** se muestra el diseño planificado de la red para el proyecto San Gerardo - Cristal - Aguarongos superpuesto en una ortofoto del área. La foto muestra mucha vegetación y una pronunciada inclinación a lo largo del lado de la carretera. La combinación del plan de red planificado y la ortofoto permite al revisor hacer correcciones sin tener que ir al lugar. Si es necesario hacer una visita al sitio, la ortofoto y el plan de red ayudan con la orientación y a encontrar los lugares de los postes referenciándose por los elementos del terreno.

Figura 20

Sección de diseño de la red proyectada de San Gerardo – Cristal – Aguarongos: a) sin ortofoto; b) con ortofoto



Fuente: Autores.

En el proyecto Chumblin - Cisne - Liquiña, se utilizó una ortofoto para localizar postes mal posicionados y identificar áreas con árboles obstaculizando la red. La fotografía también reveló viviendas que necesitaban servicio eléctrico que estaban situadas lejos de la carretera principal.

En la **Figura 21a**, se muestra la red planificada para el proyecto, mostrando solo las líneas para la carretera y la red, pero no ningún detalle específico del terreno como viviendas, parcelas o vegetación que pudieran afectar la replanificación o la construcción del proyecto.

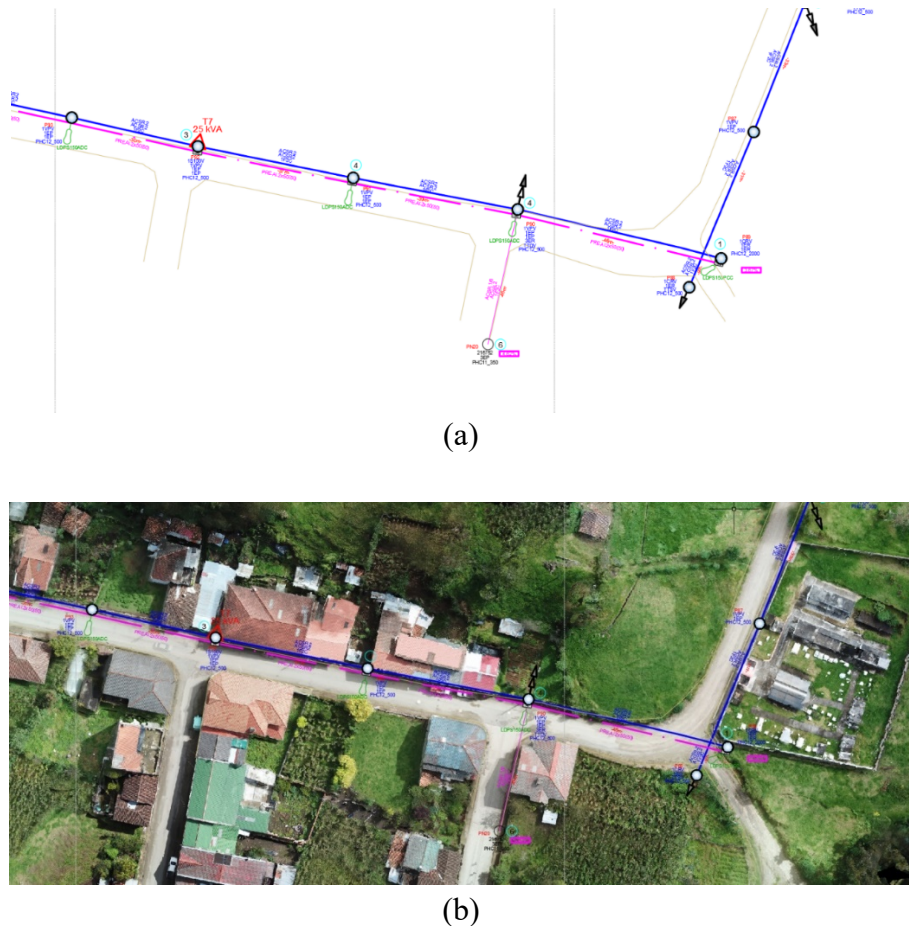
En la **Figura 21b**, se muestra la red planificada para el proyecto Chumblin - Cisne - Liquiña encima de la ortofoto del área. Esto permite ver la presencia de viviendas y parcelas que no están dentro de los límites de la fábrica. También se observa que los postes están ubicados demasiado cerca de las viviendas, lo que representa un riesgo. Como alternativa, la ortofoto revela que el paseo frontal tiene más espacio y menos viviendas, lo que lo convierte en una

opción más segura para el tendido de la red.

La combinación de la red planificada y una ortofoto permite al revisor realizar los ajustes necesarios desde la oficina sin tener que visitar el lugar físicamente. Sí se requiere una visita al sitio, el plan con la ortofoto ayuda con la navegación al permitir al revisor ver exactamente dónde se colocarán los postes referenciándose con las características del terreno.

Figura 21

Sección de diseño de la red proyectada de Chumblin – Cisne – Liquiña: a) sin ortofoto; b) con ortofoto



Fuente: Autores.

La ortofoto utilizada en el proyecto del alimentador 1722 - Los Cerezos permitió localizar postes de alumbrado público que debían ser reemplazados, lo que permitió la creación de la nueva red utilizando los huecos existentes de los postes y reduciendo los gastos de construcción. La ortofoto también reveló predios que estaban fuera de la línea de fábrica y entradas peatonales y garajes que podrían obstaculizarse durante el proceso de diseño, permitiendo que se realizaran ajustes.

En la

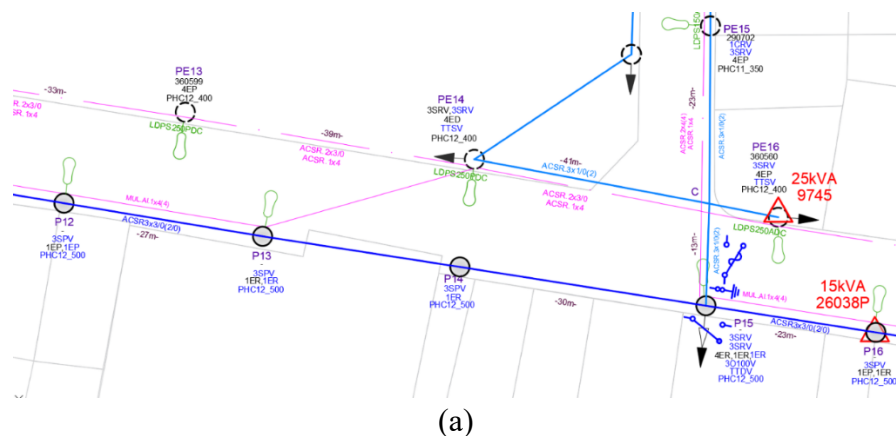
Figura 22a, se muestra el plano proyectado de la red del alimentador 1722, en el que solo se muestran las líneas que definen la carretera y la red y los predios. Sin embargo, detalles como entradas peatonales, garajes, alcantarillas, aleros y viviendas fuera de la línea de fábrica no son visibles. Estos elementos pueden afectar el replanteo o el proceso de construcción.

En la

Figura 22b, se muestra un plan para la red propuesta del alimentador 1772 superpuesto sobre la ortofoto del área. Se puede ver que la ortofoto permitió identificar una casa y sugirió la construcción de un tramo subterráneo para evitarla. En áreas urbanas, se pueden hacer planes propuestos utilizando ortofotos para comunicarse con el administrador del proyecto sobre cualquier problema que surja y tener una comprensión clara del resultado final de la red. La ortofoto se puede utilizar luego para crear un plan proyectado y la documentación necesaria.

Figura 22

Sección de diseño de la red proyectada del alimentador 1722: a) sin ortofoto; b) con ortofoto



Fuente: Autores.

4.1. Implementación de algoritmo de inteligencia artificial para desglose de materiales.

En cada proyecto se utilizó el algoritmo de Machine Learning para el desglose de materiales para identificar las estructuras de medio voltaje monofásicas y trifásicas. Este algoritmo funciona con fotografías tomadas desde el suelo o con el dron.

Para el proyecto San Gerardo - Cristal - Aguarongos, se cargaron 7 fotografías de estructuras monofásicas de la red existente. El algoritmo identificó correctamente 2 de estas estructuras. La

Tabla 3 muestra el número de postes en el plano actual, la identificación de la estructura con métodos convencionales, la identificación de la estructura con el algoritmo, la tasa de precisión con la que se identificó la estructura y el resultado final.

Con este resultado, se obtiene un 29% de acierto en el desglose de materiales en el proyecto de San Gerardo – Cristal – Aguarongos.

Tabla 3

Cuadro comparativo para de reconocimiento de estructuras – San Gerardo – Cristal – Aguaronos.

Poste	Tradicional	Algoritmo	Porcentaje	Correcto
P1	1CR; 1CR	1BD	100	NO
P2	1CD	1CD	99	SI
P3	1CR; 1CR; 1CR	1CD	68	NO
P8	1CD	1CD	99	SI
P10	1CD	1BD	84	NO
P11	1CA; 1CR	1BD	96	NO
P12	1CA	1CP	100	NO

Fuente: Autores.

Para el proyecto Chumblin - Cisne - Liquiña, se utilizaron 20 fotografías de estructuras monofásicas de la red existente. El algoritmo fue capaz de identificar correctamente 5 de las 20 fotografías. La **Tabla 4** muestra información como el número de postes en el plano actual, la identificación de la estructura mediante métodos tradicionales y algorítmicos, la tasa de éxito en la identificación y el resultado general.

Con este resultado se obtiene un 25% de acierto en el desglose de materiales en el proyecto de Chumblin – Cisne – Liquiña.

Tabla 4

Cuadro comparativo de reconocimiento de estructuras – Chumblin – Cisne – Liquiña.

Poste	Tradicional	Algoritmo	Porcentaje	Correcto
P1	1BA	1BD	87	NO
P2	2(1CR)	1BD	81	NO
P4	1CP	1CP	84	SI
P5	1CD	1BD	100	NO
P7	1CD; 1CR	1CR	90	NO
P9	1CD	1BD	96	NO
P10	1CA; 1CR	1CR	52	NO
P11	1CP	1CP	100	SI
P12	1CA	1BD	36	NO
P13	1CR; 1CR	1BA	84	NO
P14	1CP	1CA	71	NO
P15	1CP	1CP	58	SI
P16	1CR; 1CR; 1CR	1BD	45	NO
P17	1CP	1BA	83	NO
P18	1CR; 1CR; 1CR	1BD	73	NO
P31	1CR	1BD	100	NO

P32	1CP	1CA	100	NO
P33	1CP	1CP	100	SI
P34	1CP	1CP	79	SI
P36	1BA	3VP	48	NO

Fuente: Autores.

Para el proyecto del alimentador 1722, se utilizaron 68 fotografías de estructuras monofásicas y trifásicas a lo largo de la ruta de la red propuesta. El algoritmo identificó correctamente 45 de las 68 fotografías. La **Tabla 5** incluye información como el número de postes en el plano actual, la identificación de las estructuras mediante métodos tradicionales y algorítmicos, la tasa de éxito en la identificación y el resultado general.

Con este resultado se obtiene un 66% de acierto en el desglose de materiales en el proyecto de Chumblin – Cisne – Liquiña.

Tabla 5

Cuadro comparativo de reconocimiento de estructuras – Chumblin – Cisne – Liquiña.

Poste	Manual	Algoritmo	Porcentaje	Correcto
P2	1CR	1CR	100	SI
P8	3SR	3SR	82	SI
P9	3SD	3SD	100	SI
P10	3SP	3VP	99	NO
P11	3SA	3SA	90	SI
P17	1CR	1BD	60	NO
P18	1CP	1CA	88	NO
P19	1CR,3SR,3SR	3SD	100	NO
P20	3SD	3SD	93	SI
P21	3SA,3SR	3SP	93	NO
P22	3SD	3SD	100	SI
P23	3SP	3SP	96	SI
P24	3SD	3SD	100	SI
P26	3VP	3CA	91	NO
P27	3SD	3SD	100	SI
P28	3SD	3SD	99	SI
P33	1CR	1CR	99	SI
P35	1CR	1CR	75	SI
P37	1CR	1CR	100	SI
P39	3SR,3SR	3SD	86	NO
P40	3VP	3VP	90	SI
P43	3SR	3SR	95	SI
PE1	1CD	1CD	96	SI
PE2	1CP	1CP	99	SI
PE3	1CP	1CP	99	SI

PE4	1CP,1CR	1BD	69	NO
PE5	1CP	3CP	55	NO
PE6	1CP	1CP	100	SI
PE7	3SR,1CR	3SD	100	NO
PE8	3SP	3SP	100	SI
PE9	3SD	3SD	99	SI
PE10	3SA	3SA	94	SI
PE11	3SP	3SA	72	NO
PE12	3SP	3SP	98	SI
PE13	3SD	3SD	100	SI
PE14	3SP,3SR	3SD	78	NO
PE15	1CD	1CD	58	SI
PE16	3SP	3CP	40	NO
PE17	3SP	3CP	70	NO
PE18	3SD	3SD	100	SI
PE19	3SD	3SD	100	SI
PE20	3SR	3SR	94	SI
PE21	3SD	3SD	99	SI
PE22	3SR	3SD	100	NO
PE23	3SD	3SD	99	SI
PE24	3VP	3VP	99	SI
PE25	3VP	3SA	92	NO
PE26	3VP	3VP	91	SI
PE27	1CD	1CA	99	NO
PE28	3SD	3SD	38	SI
PE29	3CP,1CR	1BD	76	NO
PE30	3CP	3CP	100	SI
PE31	1CP	1CP	100	SI
PE32	3VP	3VP	96	SI
PE33	3VP,3SR	3VP	42	NO
PE34	1CP	1CP	100	SI
PE35	3SD	3SD	63	SI
PE36	3VD	3VR	81	NO
PE37	3SP	3SP	100	SI
PE38	3SP	3SA	68	NO
PE39	3SP	3SP	66	SI
PE40	3CD	3SD	69	NO
PE41	3SP	3SP	100	SI
PE42	3SA	3SA	99	SI
PE43	3CA	3CA	76	SI
PE44	3CP	3CP	79	SI
PE45	3SP	3SP	100	SI
PE46	3SR	3SD	82	NO

Fuente: Autores.

Se obtuvieron un total de 95 estructuras de medio voltaje en los 3 proyectos, de las cuales 52 fueron identificadas y desglosadas de manera correcta, lo que significa una precisión del algoritmo del 55%.

Este grupo de estructuras también incluye estructuras combinadas que el algoritmo no puede reconocer, ya que las imágenes utilizadas en el entrenamiento son solo de estructuras simples. Si se excluyen las estructuras combinadas, el algoritmo tiene una tasa de éxito del 67%, lo que significa que, de un total de 78 estructuras, 52 fueron correctamente desglosadas.

Los resultados para cada estructura en los 3 proyectos, se pueden encontrar en la **Tabla 6**. La última columna muestra el porcentaje promedio de precisión del algoritmo para reconocer cada estructura. Para estructuras mixtas, un valor de 0,5 significa que el algoritmo identificó correctamente solo una de las estructuras del grupo.

Tabla 6

Cantidad de aciertos por cada estructura de los 3 proyectos.

ESTRUCTURA	CANTIDAD DE ESTRUCTURAS	ESTRUCTURAS RECONOCIDAS	PROMEDIO DE PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO
1BD	-	-	-
1VP	-	-	-
1CA	2	0	-
1CD	8	4	88%
1CP	15	10	91,9%
1CR	6	4	94%
3VA	-	-	-
3VD	1	0	-
3VP	6	4	94%
3VR	-	-	-
3SA	3	3	94%
3SD	14	14	92%
3SP	12	7	94%
3SR	5	3	90%
3CA	1	1	76%
3CP	2	2	88%
1CA; 1CR	2	0,5	52%
1CD; 1CR	1	0,5	90%
1CP; 1CR	1	0	-
1CR,3SR,3SR	1	0	-
1CR; 1CR	2	0	-
1CR; 1CR; 1CR	3	0	-
2(1CR)	1	0	-

3CP,1CR	1	0	-
3SA; 3SR	1	0	-
3SP,3SR	1	0	-
3SR,1CR	1	0	-
3SR,3SR	1	0	-
3VP,3SR	1	0,5	42%

Fuente: Autores.

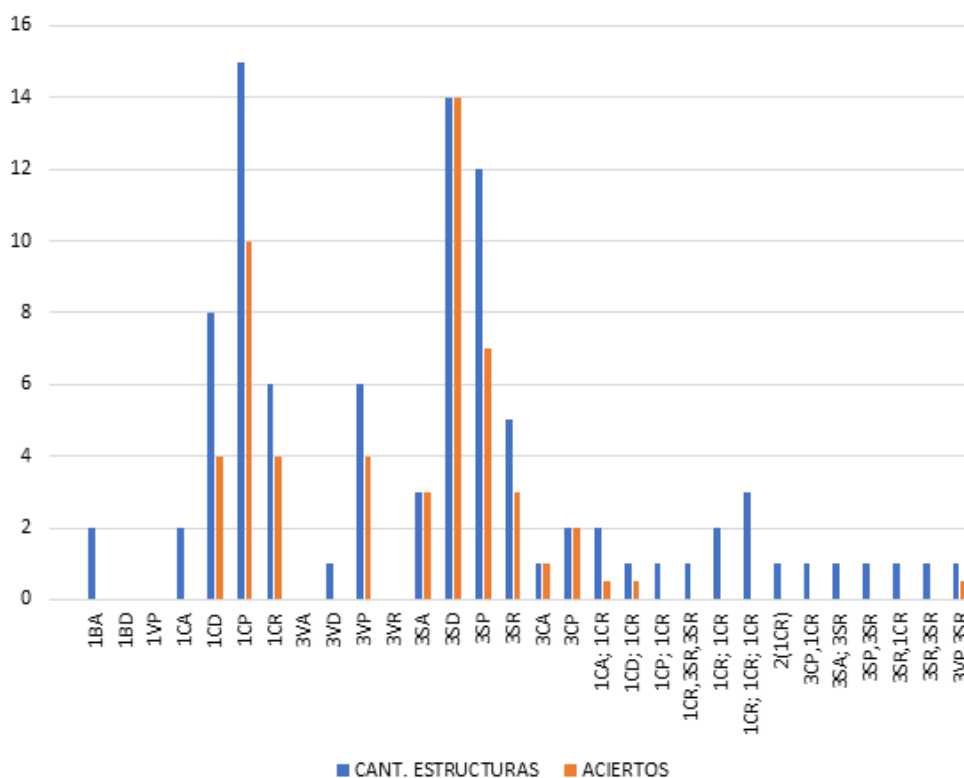
En la Gráfica 2, que se relaciona con la **Tabla 6**, es evidente que algunas estructuras son identificadas con más precisión que otras. Específicamente, la estructura 3SP tiene el mayor número de identificaciones correctas en comparación con el total de estructuras.

Las estructuras 1BA, 1CA y 3VD no tienen valores de precisión debido a que el algoritmo no ha sido capaz de identificarlas correctamente.

Las estructuras combinadas o postes con más de una estructura también no tienen valores de precisión porque el algoritmo no ha sido entrenado para reconocer este tipo de estructuras.

Gráfica 2

Aciertos por estructura.



Fuente: Autores.

4.2. Análisis de tiempo con la implementación de la metodología propuesta.

Para este análisis, comparamos los tiempos de diseño de tres proyectos realizados utilizando tanto el método tradicional como el método propuesto. Los tiempos de diseño del método tradicional fueron proporcionados por el Ing. Gustavo Parra, quien fue el contratista encargado de los tres proyectos analizados.

Los tiempos obtenidos con la metodología propuesta se cronometraron durante su implementación.

En la **Tabla 7**, se pueden ver las actividades de la Etapa 1 y Etapa 2 junto con el tiempo en minutos que toma completar cada una de estas actividades utilizando el método tradicional. Este cuadro muestra el tiempo por actividad para cada proyecto y un valor total en minutos para la acumulación de los tres proyectos al final, que para el método tradicional tiene un valor de 4553 minutos, lo que representa un tiempo de 75 horas y 53 minutos invertidos en la creación de la red existente y el plan proyectado. En la **Tabla 8**, se pueden ver las actividades del Etapa 1 y Etapa 2 junto con el tiempo en minutos que se tarda en completar cada una de estas actividades utilizando el método propuesto.

En esta tabla se presentan los tiempos de duración de cada actividad para cada proyecto y el total acumulado en minutos de los tres proyectos, según el método propuesto. Este valor total es de 3043 minutos, lo que equivale a 50 horas y 42 minutos de tiempo invertido en la elaboración del inventario de la red existente y el plan de proyección.

Entre los dos enfoques, hay una diferencia de 1510 minutos en el tiempo total invertido, lo que equivale a 25 horas y 10 minutos.

Al aplicar la metodología descrita en este documento, se logra una reducción del 33% en el tiempo necesario para llevar a cabo el diseño de una red de distribución.

Tabla 7
Tiempos por actividad con el uso del método tradicional.

Método tradicional				
ACTIVIDAD	PASOS QUE INVOLUCRA CADA ACTIVIDAD	Línea 1F San Gerardo – Cristal – Aguarongos	Línea 1F Chumblin – Cisne - Liquiña	Alimentador 1722 – Los Cerezos
		Toma de datos	Descarga de archivos del Geoportal	1
	Limpieza de plano	60	180	300
Verificación de datos	Recorrido de la red	55	30	25
	Anotaciones en planos físicos	60	20	180

Actualización de plano existente	Reubicación de elementos existentes	20	35	180
Verificación de datos Creación de archivo fotográfico	Etiquetado de elementos	35	90	180
	Toma de fotografías	115	150	40
Actualización de plano existente Desglose de materiales	Numeración de imágenes	3	10	45
	Creación del listado general de materiales	25	45	70
Creación de archivo fotográfico	llenado de la sección de estructuras por poste	7	20	68
	desglose de material por poste	14	40	136
Recorrido del área para ubicación de elementos ubicación de elementos de red proyecta	recorrido de la red marcando ubicación de postes en planos físicos	210	240	300
	Diseño de la red proyectada	240	270	300
	desglose de material por poste	14	40	136
Verificación de ubicación de elementos	Recorrido en campo para la verificación del plano proyectado	150	150	185
Correcciones de ubicación de elementos	Reubicar elementos proyectados	60	90	120
Tiempo total de los 3 proyectos			4553	

Fuente: Autores.

Tabla 8

Tiempos por actividad con el uso del método propuesto.

ACTIVIDAD	Método propuesto			
	PASOS QUE INVOLUCRA CADA ACTIVIDAD	Línea 1F San Gerardo – Cristal – Aguarongos	Línea 1F Chumblin – Cisne – Liquiña	Alimentador 1722 – Los Cerezos
Toma de datos	Descarga de archivos del Geoportal	3	3	3
	Limpieza de plano	60	180	300
Planificación de vuelo	Importación de las coordenadas de los postes	4	4	4
	Creación de las rutas de vuelo	35	60	40
Visita en campo (recorrido del área de vuelo)	Recorrido de la red en busca de obstáculos	55	30	25
	Redefinición de las zonas de despegue y aterrizaje	45	90	30
Actualización de plano existente	Reubicación de elementos existentes	5	60	120
	Etiquetado de elementos	35	90	180

Creación de archivo fotográfico	Toma de fotografías	70	90	40
	Numeración de imágenes	3	10	45
Desglose de materiales	Recorte de fotografías	3	5	15
	Carga de fotografías en el programa	2	3	7
Ubicación de elementos de la red proyectada	Carga de ortofoto en CAD	10	7	7
	Diseño de la red proyectada	270	240	270
Verificación de ubicación de elementos	Recorrido de la trayectoria de la red en la ortofoto	90	120	180
Correcciones de ubicación de elementos	Reubicar elementos proyectados	30	35	30
Tiempo total de los 3 proyectos			3043	

Fuente: Autores.

Conclusiones

El enfoque propuesto involucra integrar nuevas tecnologías en el proceso, facilitando el trabajo manual y mejorando la precisión de los datos recopilados. Además, reduce los costos de diseño y revisión, reduciendo finalmente la necesidad de revisiones en el lugar, ya que un diseño que incluye un desglose automatizado de materiales y una ortofoto permite al revisor ver el resultado final de la red, asegurando que los elementos de la red no interrumpirán parcelas, vegetación, tuberías, carreteras o edificios.

La incorporación de ortofotos en los diseños ayuda en gran medida en la creación de una red mientras se tienen en cuenta todos los obstáculos del terreno. Su georreferenciación garantiza la precisión de las distancias y ubicaciones de los elementos. Aunque el proyecto puede construirse tal y como se planeó en la etapa de diseño, la implementación de la tecnología para obtener ortofotos puede conllevar costos de \$400 a \$1500 para los contratistas. Las empresas ofrecen servicios de fotogrametría a diferentes costos según el proyecto y la precisión como medio de obtener esta tecnología. Sin embargo, Empresa Eléctrica Centrosur C.A. se enfrenta a un obstáculo significativo en el valor que paga por los diseños de redes de distribución realizados con drones, ya que actualmente no existe tal categoría. Esta categoría debería valorarse más alto que el diseño tradicional, ya que el diseño con drones mejora los resultados.

La implementación de algoritmos de inteligencia artificial para el reconocimiento de imágenes no mejora la precisión en el desglose de materiales debido a que las estructuras monofásicas 1CP, 1CA, 1CD y 1BD son muy similares. En algunos casos, solo difieren en las áreas en las que se utilizan, y los algoritmos de clasificación de imágenes no pueden reconocer estas pequeñas diferencias entre estructuras. Por lo tanto, el número de estructuras identificadas incorrectamente en este proyecto es del 45%, lo que reduce significativamente la precisión del algoritmo. Aunque el número de identificaciones incorrectas podría reducirse utilizando el doble de muestras, este nivel de precisión todavía sería insuficiente debido a que puede haber estructuras combinadas con diferentes accesorios en el campo. En estas condiciones, los algoritmos de clasificación de imágenes no producirían buenos resultados.

El uso del Machine Learning para descomponer los materiales de la red existente reduce significativamente el tiempo requerido para esta tarea y puede producir resultados muy precisos al identificar los materiales de las estructuras con algoritmos de reconocimiento de objetos.

La implementación del método propuesto ha permitido una reducción del 33% en el tiempo necesario para diseñar un sistema de distribución, principalmente debido a la automatización del desglose de materiales. Al automatizar esta tarea, el tiempo empleado en el desglose de materiales se redujo un 84% en comparación con el método tradicional, que es la actividad que produce el mayor número de errores al ser completamente manual.

Es recomendable utilizar algoritmos de reconocimiento de objetos que hayan sido entrenados con materiales de redes de distribución para la descomposición de materiales. Estos algoritmos podrán determinar de manera más efectiva qué materiales componen cada estructura.

Se sugiere utilizar herramientas de software que permitan la implementación de tecnologías de reconocimiento de objetos en el vuelo del dron para obtener resultados en tiempo real y reducir aún más los tiempos de desglose de materiales, posiblemente obteniendo resultados casi al instante.

Se recomienda incluir puntos de control tomados con GPS de alta precisión para ortofotos que se hayan generado en lugares con grandes elevaciones. Al fusionar información de múltiples vuelos, hay tendencia a perder precisión en la altitud del terreno, lo que puede dar lugar a problemas con la calidad del modelo y la ortofoto.

Referencias bibliográficas

-
- Ahirwar, S., Srinivas, B., Swarnkar, A. R., & Namwade, G. (Enero de 2019). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Bhukya-Srinivas-2/publication/331017387_Application_of_Drone_in_Agriculture/links/5c6aacb04585156b57036824/Application-of-Drone-in-Agriculture.pdf
- Córdoba, C. A. (03 de marzo de 2017). *Universidad Piloto de Colombia*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4408>
- Guisado-Pintado, E., Jackson, D. W., & Rogers, D. (1 de Mayo de 2019). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X1830504X>
- Javier Guacho Remache, E. C. (2018). Inspección Termográfica de Líneas Eléctricas y Torres de Telecomunicaciones Implementado en Dron Dentro de la Ciudad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador: Repositorio Nacional en Ciencia y Tecnología.
- Lee, S., & Yosoon, C. (29 de Febrero de 2016). *KoreaScience*. Obtenido de <https://koreascience.kr/article/JAKO201609562998771.page>
- Liu, Y., Shi, J., Zhong Liu, Huang, J., & Zhou, T. (10 de Abril de 2019). *MDPI*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/7/1385>
- Murugan, D., Garg, A., & Singh, D. (13 de Octubre de 2017). *IEEE XPLORE*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8067469>

- O. Del Río-Santana, T. E.-F.-E.-M. (2019). Levantamientos Topográficos con Drones. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 15.
- Ojeda-Bustamante, W. G.-S.-P.-V. (2017). Aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 157.
- Reason Mlambo, I. H. (2017). Structure from Motion (SfM) Photogrammetry with. *Forests*, 1.
- Sărăcin, C. G., Dragoș, I., & Chirilă, A. I. (23 de Marzo de 2017). *IEEE Xplore*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7905185/authors#authors>
- Saravia, M. W., & Cáceres., J. J. (2021). Aplicaciones de los Drones Para el Diagnóstico de Infraestructura Eléctrica y Telecomunicaciones. *Revista Tecnológica ITCA-FEPADE.*, 23-26.
- Sulca, A. M., & Peña, C. E. (2020). *Repositorio UPN*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25141/Chalco%20Sulca%2C%20Alejandro%20Mart%C3%ADn%20-%20Fern%C3%A1ndez%20Pe%C3%B1a%2C%20Carlos%20Elmer.pdf?sequence=17&isAllowed=y>
- Valence, E., Baraer, M., Rosa, E., Barbecot, F., & Monty, C. (2 de Septiembre de 2022). *European geosciences Union*. Obtenido de <https://tc.copernicus.org/articles/16/3843/2022/tc-16-3843-2022.html>
- Valverde, S. A., & Appel, A. F. (2018). Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados. *Investiga TEC*, 9-12.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

Este artículo está vinculado al Proyecto de Investigación: MAPEO DE LA CALIDAD DEL AIRE A NIVEL PARANASAL MEDIANTE IoT, El primer Autor agradece a todos y cada uno de los docentes pertenecientes a los grupos de investigación Sistemas Embebidos y Visión Artificial en Ciencias Arquitectónicas, Agrícolas, Ambientales y Automáticas (SEVA4CA), por el conocimiento e información brindados para la elaboración del presente trabajo.

Nota:

El artículo es producto de la tesis titulada “DESARROLLO DE METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS ELÉCTRICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR. C. A.”.