

Resumen Publicable:
**Optimización de la metodología de relevamiento
carretero para transporte de equipamiento industrial de
grandes dimensiones**

Empresa: CSI Ingenieros

Estudiante: Juan Martin Teixeira, CI: 4.749.077-5

Contenido

Objetivo del trabajo.....	3
Metodología.....	3
Evaluación de tecnologías disponibles.....	3
Capacitación del Personal.....	4
Pruebas piloto en campo	4
Comparación de Resultados con el Método Tradicional.....	4
Resultados	4
Análisis de los datos	6
Conclusiones	7
Bibliografía	9

Objetivo del trabajo

Optimizar la metodología de relevamiento carretero para el transporte de equipamiento industrial de grandes dimensiones mediante la implementación de drones y herramientas de software, mejorando la precisión, eficiencia y seguridad del proceso.

Objetivos específicos:

1. Mejorar la precisión del relevamiento de cableado: Aumentar en un 100% la precisión en la medición de la altura de los cables que cruzan la calzada, comparado con el método tradicional basado en estimaciones visuales, dentro del período de ejecución del proyecto.
2. Reducir el tiempo de relevamiento en campo: Disminuir en al menos un 30% el tiempo requerido para completar un relevamiento carretero, en comparación con la metodología tradicional
3. Asegurar la disponibilidad de datos para futuras evaluaciones: Almacenar y procesar las imágenes captadas por los drones en una base de datos digital accesible, permitiendo su reutilización en estudios posteriores.
4. Mejorar la seguridad de los operadores: Eliminar la necesidad de realizar mediciones manuales en zonas de alto tráfico, logrando una reducción en la exposición a riesgos asociados con la circulación vehicular en relevamientos carreteros

Metodología

Para llevar a cabo la optimización del relevamiento carretero mediante el uso de drones y software especializado, se adoptará un enfoque metodológico estructurado en varias fases. Cada etapa tiene como objetivo garantizar la correcta implementación, evaluación y comparación del nuevo método frente a la metodología tradicional.

Evaluación de tecnologías disponibles

En esta primera fase, se realizará un análisis exhaustivo de las opciones tecnológicas disponibles, considerando tanto hardware como software de procesamiento de datos. Los criterios de selección incluyen:

1. Drones: Evaluación de autonomía de vuelo, capacidad de carga, precisión de los sensores y compatibilidad con normativas locales
2. Software: Comparación de herramientas de procesamiento de imágenes y modelado 3D para determinar la más adecuada en términos de funcionalidad y facilidad de utilización.

Capacitación del Personal

Dado que la nueva metodología implica el uso de tecnología avanzada, se capacitará al equipo o se buscará personal ya capacitado en los siguientes aspectos:

1. Manejo de drones: Operación segura y eficiente, cumplimiento de normativas aeronáuticas y mantenimiento de los equipos
2. Procesamiento de datos: Uso de software para la generación de modelos digitales y análisis geoespacial de las restricciones viales
3. Interpretación de resultados: Extracción de información relevante y su aplicación en la planificación de rutas

Esta capacitación se llevará a cabo mediante los diferentes cursos que sean necesarios, sesiones prácticas con simulaciones y ejercicios en campo. Se cuenta además con un equipo capacitado de agrimensura que cuenta con las cualidades necesarias tanto para poder llevar a cabo el relevamiento como así para capacitar a otro personal de ser necesario.

Pruebas piloto en campo

Se realizaron relevamientos experimentales en rutas/caminos seleccionados para validar la efectividad de la nueva metodología. Esta frase incluirá:

1. Definición de rutas de prueba: Selección de corredores viales con características representativas del problema (por ejemplo, presencia de cableado cruzando la calzada)
2. Ejecución de relevamientos: Captura de datos utilizando metodología tradicional primero, y luego captura de datos utilizando drones seleccionados, siguiendo protocolos predefinidos para garantizar consistencia en la información obtenida
3. Análisis preliminar: Procesamiento inicial de los datos para identificar posibles desafíos o ajustes en la metodología

Comparación de Resultados con el Método Tradicional

Para evaluar el impacto de la nueva metodología, se realizará un análisis comparativo con los resultados obtenidos mediante el método manual. Se medirán indicadores clave como:

- Precisión del relevamiento: Diferencias en las mediciones entre ambas metodologías
- Tiempo de ejecución: Comparación del tiempo necesario para completar el relevamiento con drones contra el tiempo requerido con la metodología convencional
- Eficiencia del procesamiento de datos: Evaluación del tiempo y recursos necesarios para procesar la información obtenida en cada caso.

Resultados

A partir de los datos obtenidos y su posterior análisis, se presentan los principales resultados.

Comparación entre metodologías.

El método tradicional, basado en observaciones directas y referencias visuales, permitió una identificación de los elementos que obstruyen la vía, aunque con ciertas limitaciones en cuanto a la precisión de las medidas. La estimación de alturas presentó un margen de error significativo debido a la ausencia de herramientas de medición especializadas. Además, el equipo de trabajo debió detenerse en cada punto de medición, descender del vehículo y tomar fotografías, lo que prolongó la duración del relevamiento y generó mayores riesgos operativos. El procesamiento de datos también requirió un análisis manual posterior para estimar las alturas a partir de las imágenes y la referencia visual utilizada, lo que aumentó el tiempo total de trabajo.

Por otro lado, el relevamiento con drones resultó significativamente más eficiente y preciso. Utilizando un drone, se capturó una nube de puntos con datos altamente detallados. En términos de eficiencia, el relevamiento con drone cubrió ambos trazados en aproximadamente dos horas, sin necesidad de detenerse en cada punto ni exponer al personal a riesgos viales. El procesamiento de datos fue más ágil, ya que el software DJI Terra permitió obtener modelos 3D y mediciones precisas en solamente una hora.

Si bien el método tradicional puede ser útil en situaciones donde no se dispone de tecnología avanzada, la comparación entre ambos enfoques evidenció que el uso de drones ofrece ventajas significativas en términos de precisión y seguridad operativa.

Validación de la precisión del relevamiento manual

Al comparar las alturas estimadas en el relevamiento manual con las mediciones obtenidas con drones, se encontraron varias diferencias y algunas variaciones mayores en puntos donde la perspectiva de la fotografía dificultó la estimación. Esto confirma que, si bien el relevamiento manual puede servir como una herramienta preliminar, no es lo suficientemente preciso para garantizar la seguridad en el transporte de cargas de gran tamaño.

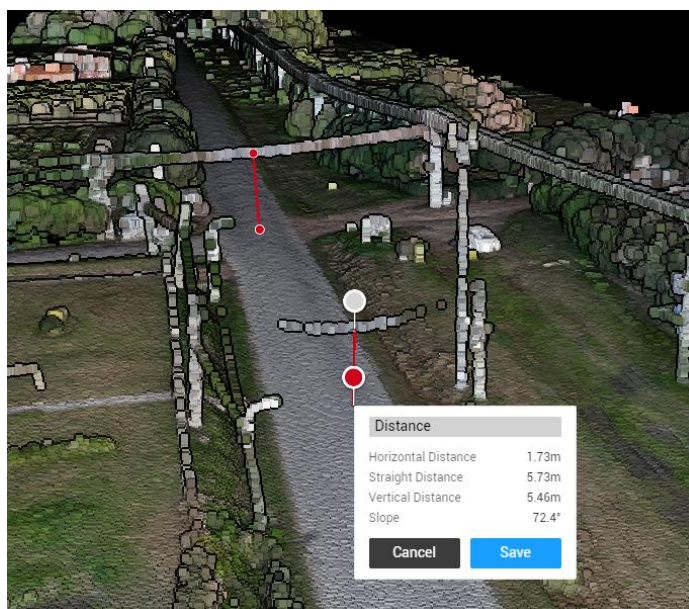


Ilustración 1- Distancia vertical cable nube de puntos utilizando DJI Terra



Ilustración 2- Estimación visual de altura de cable utilizando Photoshop

Tabla 1- Comparación de medidas

#	Tipo	Método Tradicional (m)	Método con Drones (m)	Diferencia (m)
1	Cable	5.25	5.46	+0.21
2	Cable	7.00	7.43	+0.43
3	Cable	7.00	6.76	-0.24
4	Cable	5.25	5.44	+0.19
5	Cable	6.25	6.30	+0.05
6	Cable	7.00	7.33	+0.33
7	Cable	7.00	6.90	-0.10
8	Cable	6.25	6.64	+0.39
9	Cable	5.25	5.50	+0.25
10	Cable	5.25	5.45	+0.20
11	Cable	7.00	7.17	+0.17
12	Cable	6.25	6.48	+0.23
1	Pescante	5.25	5.08	-0.17
2	Pescante	5.25	5.06	-0.19

Análisis de los datos

- **Media de las diferencias:** $\bar{D} = +0.18 \text{ m}$
- **Desviación estándar:** $\approx 0.19 \text{ m}$
 - Refleja una variabilidad moderada en las diferencias, donde la mayoría de las mediciones se encuentran dentro de $\pm 0.19 \text{ m}$
- **Rango:** $[-0.24, +0.43]$

- **Observación:** 10 mediciones presentan diferencias positivas. Esto sugiere que el LiDAR tiende a captar detalles del cable que la estimación visual podría subestimar en muchos casos, por factores como la perspectiva.

Conclusiones

El presente estudio comparativo entre el método tradicional de relevamiento, basado en la estimación visual, y el método tecnológico que emplea drones, ha permitido identificar mejoras significativas en la precisión y eficiencia de las mediciones de restricciones viales, a la vez que se han detectado algunos inconvenientes y áreas de oportunidad para futuros trabajos.

El uso de drones con tecnología LiDAR ha demostrado una serie de ventajas que representan un avance sustancial respecto a las técnicas tradicionales. En primer lugar, se ha evidenciado un aumento en la precisión de las mediciones, ya que, en promedio, el método tecnológico logra captar con mayor detalle la geometría de los elementos. Este incremento en exactitud es fundamental para garantizar el cumplimiento de las restricciones de altura, vitales en el transporte de cargas sobredimensionadas.

Asimismo, la eficiencia operativa se ha visto mejorada de manera notable. El relevamiento mediante drones permite cubrir grandes extensiones de terreno en tiempos reducidos, eliminando la necesidad de detenerse en cada punto de medición y, por ende, minimizando el riesgo operativo y la exposición del personal a condiciones potencialmente peligrosas en la vía pública. La digitalización y generación de modelos 3D a partir de la nube de puntos, facilitan la integración de la información en sistemas de planificación, lo que optimiza la toma de decisiones en proyectos de gran envergadura.

Tabla 2 Comparativa de Metodologías

	Método tradicional	Método con Drones
Tiempo de relevamiento	1.5 hrs	2 hrs
Tiempo de procesamiento de datos	3 hrs	1 hrs
Personal requerido	3 personas	2 personas

No obstante, el estudio también ha relevado ciertos inconvenientes asociados al uso de la tecnología avanzada. La influencia de las condiciones operativas y ambientales, factores como la incidencia de luz, sombras, el ángulo de captura, las condiciones meteorológicas, la autonomía de la carga de las baterías y demás pueden afectar la eficiencia del relevamiento con drones. Además, la inversión en equipos de alta tecnología y la necesidad de contar con personal altamente capacitado implican desafíos en términos de costos y recursos, especialmente en contextos con presupuestos limitados. Consideramos también, que la aplicación de esta metodología es solamente eficiente en zonas urbanas ya que es donde se presenta la mayor cantidad de restricciones por altura, y no así en tramos de rutas nacionales que están generalmente preparados para los traslados de tipo sobredimensionado.

Con miras a fortalecer y ampliar los beneficios identificados, se recomienda llevar a cabo varias acciones en futuras aplicaciones. En primer lugar, resulta importante ampliar la muestra de datos para obtener un análisis estadístico mas robusto y poder confirmar o ajustar las tendencias preliminares. En segundo lugar, optar por fortalecer la toma de datos con el método tradicional obteniendo instrumentos de medida adecuados para una mejor comparación entre los métodos, si bien la empresa no cuenta con unos de momento, su adquisición resulta de gran importancia con el fin de poder optar con mayor tranquilidad entre cada método a la hora de atacar distintos proyectos.

El desarrollo de este proyecto ha permitido extraer valiosas lecciones que orientaran a futuros trabajos en la materia. Se ha comprobado la importancia de la digitalización en la optimización de procesos críticos, evidenciando que la transición hacia métodos tecnológicos no solo incrementa la precisión, sino que también mejora la seguridad y reduce el tiempo de ejecución. Otro aprendizaje fundamental ha sido el valor de contar con personal altamente capacitado y especializado, capaz de operar tecnologías emergentes y de gestionar la información de manera eficaz. La experiencia adquirida confirma que, en determinados escenarios, la integración de métodos complementarios, combinando técnicas tradicionales y tecnológicas, puede ofrecer una visión mas completa y confiable de la situación, permitiendo así tomar decisiones informadas.

En síntesis, el proyecto ha demostrado que la incorporación de drones equipados con LiDAR representa una evolución significativa en el relevamiento de restricciones viales, a pesar de algunos desafíos inherentes a la tecnología y las condiciones de campo. Las conclusiones aquí presentadas sientan las bases para futuras mejoras y subrayan la importancia de la innovación y adaptación continua en procesos críticos para el transporte de cargas especiales.

Bibliografía

Software y herramientas utilizadas

- DJI. (2024). *DJI Terra User Manual*. DJI Enterprise. <https://www.dji.com/dji-terra>
- DJI. (2024). *DJI Matrice 350 RTK Specifications & User Guide*. DJI Enterprise. <https://www.dji.com/matrice-350-rtk>
(Referencia sobre el drone utilizado en el relevamiento.)
- DJI. (2024). *Zenmuse L2 LiDAR Sensor - Technical Specifications*. DJI Enterprise. <https://www.dji.com/zenmuse-l2>
(Referencia sobre el sensor LiDAR utilizado para la recolección de datos.)
- Notion. (2024). *Herramienta de gestión de proyectos utilizada para la elaboración del diagrama de Gantt*. <https://www.notion.so/>
- diagrams.net. (2024). *Plataforma utilizada para la elaboración del WBS*. <https://app.diagrams.net/>
- Canva. (2024). *Plataforma utilizada para la elaboración del FODA y el diagrama de Ishikawa*. <https://www.canva.com/>

Fuentes de información y asesoramiento

- Equipo de Topografía de CSI Ingenieros (2024). *Asesoramiento técnico sobre relevamientos con drones y tecnología LiDAR*. Comunicación personal.

Material de referencia académico

- Facultad de Ingeniería - Universidad de la República. (2024). *Taller 4: Mejora de la competitividad*. EVA - Entorno Virtual de Aprendizaje. <https://eva.fing.edu.uy/course/view.php?id=285>
(Fuente de la matriz de riesgos, matriz de comunicaciones, matriz RACI y matriz de interés-poder).

Normativa

- DINACIA. (2024). *Regulación de vuelos de drones en Uruguay*. Dirección Nacional de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica. <https://www.dinacia.gub.uy>
(Fuente oficial para normativas de operación de drones en Uruguay).