

# LEVANTAMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA LIDAR Y FOTOGRAMETRÍA PARA LOCALIZAR INCUMPLIMIENTOS SEGÚN EL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).

**Autor:**

**RICARDO SAAVEDRA COTRINA**  
Ingeniero Topográfico

**Tutor:**

**FELIPE ALFREDO RIAÑO PEREZ**



**Facultad de Ingeniería**  
**Especialización en Geomática**  
**Universidad Militar Nueva Granada**  
**Bogotá, 04 de Julio de 2017**

# LEVANTAMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA LIDAR Y FOTOGRAMETRÍA PARA LOCALIZAR INCUMPLIMIENTOS SEGÚN EL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE).

Ricardo Saavedra Cotrina  
Ingeniero Topográfico  
Responsable de Producción en  
Sistemas de Información Geográfica de Latinoamérica SIGLA S.A.S  
Bogotá, Colombia  
[ricardo.saavedra@sigla-sas.com](mailto:ricardo.saavedra@sigla-sas.com)

## RESUMEN

En este documento se desarrolla una metodología para el levantamiento de redes eléctricas con la aplicación de tecnología LIDAR y fotogrametría. En Colombia se tiene una extensa red de líneas eléctricas que requieren un constante mantenimiento e intervenciones sobre toda su infraestructura para corregir los problemas generados por fenómenos naturales y antrópicos que llevan al incumplimiento de la normatividad existente. Mediante el uso de nuevas tecnologías como el LIDAR aerotransportado y con el apoyo de métodos tradicionales como la fotogrametría, es posible realizar el levantamiento y modelado en tres dimensiones de toda la infraestructura eléctrica, incluyendo la totalidad de los elementos cartográficos y no cartográficos que se encuentran en el área de influencia del corredor eléctrico, para usarlos como insumo sobre herramientas de análisis geoespacial con el fin de encontrar distancias, áreas, proximidad y cualquier variable que sea posible cuantificar y analizar con el objetivo de encontrar y geo localizar el lugar específico donde se encuentra, su tipo y nivel de afectación o gravedad y con esto generar ahorro en tiempo, recursos disminuyendo de paso los riesgos inherentes a las inspecciones por tierra. Con el correcto uso de las herramientas y con un buen conocimiento técnico para el tratamiento de datos LIDAR, es posible lograr mejores resultados en las inspecciones de redes eléctricas, más precisas, objetivas y en tiempos que no tienen comparación con los obtenidos por otro método.

**Palabras clave:** LIDAR; Fotogrametría; Redes eléctricas; geoespacial

## ABSTRACT

This document develops a methodology for the survey of electrical networks with the application of LIDAR technology and photogrammetry. In Colombia there is an extensive network of electrical lines that require constant maintenance and interventions on all its infrastructure to correct the problems generated by natural and anthropic phenomena that lead to non-compliance with existing regulations. Through the use of new technologies such as airborne LIDAR and supported by traditional methods such as photogrammetry, it is possible to carry out the three-dimensional survey and modeling of the entire electrical infrastructure, including all the cartographic and non-cartographic elements found in the area of influence of the electric corridor, to use them as input on geospatial analysis tools in order to find distances, areas, proximity and any variables that can be quantified and analyzed with the objective of finding and geo locating the specific place where they were found, its type and level of affectation or grade of severity and with this to generate saving in time, resources diminishing of step the risks inherent to the inspections by land. With the correct use of the tools and with a good technical knowledge for the treatment of LIDAR data, it is possible to achieve better results in the inspections of electrical networks, more precise, objective and in times that do not compare with those obtained by another method.

**Keywords:** LIDAR; Photogrammetry; Electrical networks; Geospatial.

## INTRODUCCIÓN

Una de las tareas más importantes para garantizar la buena prestación de servicios de suministro eléctrico a nivel nacional, es la continua inspección del estado de las redes y toda la infraestructura que interviene, para ejecutar esta labor se necesitan recursos de personal capacitado que pueda hacer la inspección de las redes mediante recorridos por tierra siguiendo los trazados y con observaciones determinar los posibles incumplimientos sobre las redes, éstas tareas son riesgosas y demandan grandes cantidades de tiempo y recursos, por eso es necesario aplicar nuevas metodologías para agilizar, mejorar y hacer de forma más segura la inspección de redes, por ese motivo en este documento se aborda una solución mediante el uso de sensores remotos de alta precisión, específicamente LIDAR y fotogrametría, donde la gran densidad de puntos generados en una nube de datos y la versatilidad para su proceso en herramientas geoespaciales y de análisis, los convierte en la mejor metodología para lograr el objetivo propuesto. En este documento se describirá el procesado básico de los datos capturados por los dos sensores aerotransportados, su edición y generación de productos, para luego entrar específicamente al análisis geoespacial y la clasificación manual de los incumplimientos para posteriormente mostrar el proceso de generación de informes y estructuración en bases de datos.

### 1. DISEÑO DEL VUELO.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándose en la cartografía existente, así como en datos suministrados, se realizará una planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas.

- Toma láser (LIDAR) con una densidad mínima de 100 puntos/m<sup>2</sup>.
- Precisión productos derivados LIDAR de RMSEz ≤ 0.20.
- Tamaño de Pixel GSD cenital igual o mejor a 15 mm
- Tamaño de Pixel GSD oblicuo igual o mejor a 10 mm.

- Tamaño de Pixel GSD termo gráfico igual o mejor a 4 cm.

Siguiendo las especificaciones necesarias, se realiza la parametrización mediante el Software AeroPlan. Determinando la altura de vuelo, velocidad máxima de la aeronave, durante el proceso de captura y la frecuencia del sensor LIDAR.

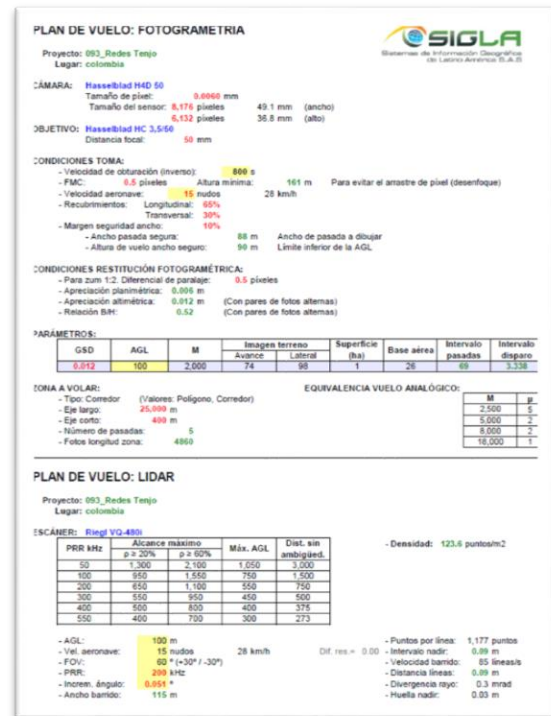


Figura 1. Planificación del vuelo.

### 2. EJECUCIÓN DEL VUELO

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en el Helicóptero y el correcto funcionamiento de las estaciones GPS terrestres, se procede a la realización del vuelo. En este caso las correcciones propias de la toma fotográfica originadas por la ejecución del vuelo se realizarán mediante la unidad de sincronización y control mediante la Aplicación SIGLALASER MISION. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GPS e IMU.

En vuelos combinados (LIDAR-Cámara fotogramétrica), el helicóptero dispone sobre el fuselaje de dos antenas GPS bi-frecuencia, uno

de los sistemas GPS conectado al sistema inercial de la cámara digital y el otro al sistema inercial del sensor LIDAR. Ambos receptores captan información sobre la trayectoria desde el momento en que se conectan los motores del helicóptero hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada. El sistema GPS de la cámara digital captura asimismo información sobre los eventos de la toma de imágenes. Adicionalmente, con ambas triadas de parámetros  $(x, y, z)$  y  $(\omega, \phi, \kappa)$ , calculadas en post-proceso, se conocen las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calcula la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LIDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial el Helicóptero permanece parado al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacena datos.

Para este proyecto, los giros registrados fueron compensados en vuelo, reduciendo al máximo los efectos de estos sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LIDAR.

El producto final de la ejecución de la misión de vuelo es el conjunto de imágenes digitales y/o datos brutos LIDAR, archivo de observaciones GPS e IMU y archivo final de la trayectoria seguida por el Helicóptero.

Finalizada la sesión de vuelo se realiza el control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.

### **3. OBTENCIÓN DIRECTA DE LOS PARÁMETROS DE ORIENTACIÓN EXTERNA.**

La obtención de los parámetros de orientación externa se realiza en cuatro fases:

- Obtención de la trayectoria DGPS por técnicas diferenciales, es decir, a partir de los datos del GPS y las observaciones simultáneas de la estación de referencia GNSS y posicionamientos en tierra.
- Conocidos de forma previa los parámetros de calibración de los sensores, se calcula una

trayectoria integrada que incluye información sobre la altitud del Helicóptero incorporando los datos de la IMU.

- Con la trayectoria integrada DGPS/IMU y el registro de eventos, se extraerán los parámetros de orientación externa para cada una de las tomas de Imagen. A estos parámetros de orientación externa se les aplicarán las correcciones locales derivadas de la proyección UTM: convergencia de meridianos en  $\kappa$  y factor de escala en altura.

- Finalmente se lleva a cabo una fase de interpolación de la trayectoria antes obtenida con los parámetros de orientación externa en el momento exacto de la toma.

Como resultado de estos cálculos se obtiene:

- Trayectorias de vuelo para cada día, misión de vuelo (Archivo solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU (Archivo \*.trj y .txt “)
- Coordenadas de los centros de proyección con altitudes elipsoidales.
- Ángulos de orientación Omega, Phi y Kappa de cada fotografía.

### **4. PROCESADO DE DATOS LIDAR.**

La información LIDAR registrada para la misión de vuelo se compone de:

- Raw Laser: datos brutos procedentes del sensor en sistema WGS84.
- Datos inerciales (GPS-IMU), procedentes del sistema inercial.

El pos proceso de los datos brutos de sensor procedentes del vuelo se realiza a partir del software RI Process de la casa RIEGL.

Los archivos que forman parte del cálculo son:

- Configuración del ajuste del sensor, este archivo proviene de la calibración previa al inicio del proyecto y contiene toda la información referente a los giros (Roll, Pitch, Heading), constante de torsión, corrección de rango, compensación en altura, ángulo de corrección del escáner y parámetros de temperatura y presión.

- Archivo solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU.

- SDCLaser, datos brutos procedentes del sensor en formato \*.sdc (scanning), estos datos vienen almacenados de forma secuencial y organizados en carpetas. Cada una de estas carpetas contienen todos los archivos correspondientes a cada línea de vuelo escaneada.

Para procesar los datos brutos a partir de la solución obtenida de la trayectoria, definimos previamente el sistema de proyección sobre el que queremos obtener los datos proyectados.

Del procesado de datos, se obtienen archivos binarios en formato \*.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen información referente a coordenadas planimétricas y altimétricas, intensidad, número e información de retorno, ángulo de escaneo y marca de tiempo de cada uno de los puntos.

## 5. EDICIÓN DE DATOS LIDAR.

Previo a la edición de los datos LIDAR se lleva a cabo un análisis de las pasadas o flightlines capturadas, con el fin de asegurar que estos cumplen las características y condiciones mínimas del proyecto tales como la cobertura y densidad de puntos. Para ello se visualizan todos los puntos por línea de vuelo y se comprueba la cobertura global sobre el área de trabajo.

Una vez analizados los datos, se genera un proyecto por bloques que divide la información en tiles o áreas más pequeñas, facilitando de esta manera el proceso de edición y generación de productos finales.

Para la clasificación automática inicial de los puntos LIDAR es necesario definir rutinas de búsqueda de los principales parámetros del relieve, esta labor se realiza con apoyo del modelo SRTM (Modelo global altimétrico) y de las imágenes de intensidad de los datos LIDAR.

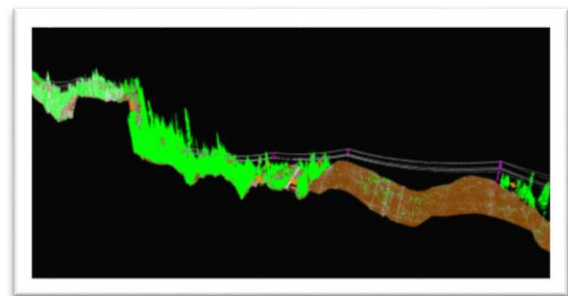
Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, etc.), diferenciadas según las características orográficas, se procede con la clasificación automática, de tal forma que se obtiene una clasificación preliminar de los puntos LIDAR, diferenciando entre los que pertenecen al terreno

y los que pertenecen a la superficie (Ground y Default).

La clasificación automática inicial no es válida en el 100% del área cubierta con datos LIDAR, por eso se hace necesaria una depuración detallada del terreno y de elementos de la superficie.

A partir de los puntos clasificados como terreno, se generan superficies o mapas de sombras para visualizar las pequeñas anomalías que estos presentan en el terreno producidas por la clasificación automática, como es el caso de errores producidos al incluir o excluir en la clase terreno puntos que pueden o no pertenecer al mismo. En ese caso, se trazan perfiles transversales en las zonas problemáticas (Especialmente en taludes, zonas vegetación densa, zonas con construcciones, etc.) y con ayuda de las herramientas de software, se clasifican los puntos en la capa correspondiente. La superficie entonces tendrá una apariencia suave y homogénea.

Después debe hacerse una clasificación detallada de la infraestructura, llevando cada tipo de elemento a una clase diferente para su posterior uso en herramientas de análisis.



**Figura 2.** Clasificación LIDAR línea alta tensión Ubaté Zipaquirá.

## 6. PROCESADO DE IMÁGENES.

El proceso de imágenes consiste en la normalización y corrección de las imágenes brutas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante proceso, las imágenes se hacen útiles para su posterior explotación. Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

- Correcciones radiométricas: Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de

frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.

- Correcciones geométricas: Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD.

- Mosaicado de imágenes: Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos entre imágenes, se consiguen ensamblar las mismas de manera que se obtiene una imagen virtual. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste. Con esto tenemos las imágenes listas para el proceso de aerotriangulación, por el que se obtiene la orientación externa precisa de los fotogramas aéreos.

La principal ventaja del empleo de técnicas de aerotriangulación es la reducción del número de puntos de apoyo necesarios para orientar un bloque fotogramétrico. Esta necesidad de apoyo, se reduce aún más, si se añaden al cálculo datos GPS/IMU, hasta el punto en que, para ciertos proyectos y aplicaciones, la orientación se puede obtener directamente del sistema inercial.

El proceso de aerotriangulación automática se realiza mediante la utilización del software Trimble Inpho y Agisoft Photoscan.

El proceso de la aerotriangulación se realizará tras la finalización del post-procesado y validación de datos GPS/IMU e imágenes. Igualmente será necesario el completar la fase de apoyo fotogramétrico en cada uno de los bloques para comenzar con esta actividad.

La medición y transferencia de puntos de enlace y de paso, se lleva a cabo, en primer lugar, de forma automática por técnicas de correlación espacial de imágenes. Se deben medir al menos nueve áreas por fotograma, coincidiendo las áreas centrales con la posición de los puntos de Von Gruber, y cada una de éstas áreas deberá contener al menos, dos puntos de paso o enlace.

En la correlación se utilizan las imágenes digitales a las que se les ha creado una estructura piramidal, con el fin de optimizar los procesos. En los primeros niveles de la piramidal (menos resolución) se usa un algoritmo de cálculo basado en la extracción de formas

características (Feature-Based Matching, FBM) que da una precisión de 0,3 píxeles. En los últimos niveles de la pirámide, se emplea el método de correlación de mínimos cuadrados (Least-Squares Matching, LSM), que permite obtener precisión de 0,1 píxeles.

Los puntos de enlace y de paso obtenidos tras la correlación, son depurados por dos vías paralelas e interrelacionadas:

Por un lado, se ejecutan algoritmos de detección automática de errores que eliminan aquellos puntos cuyo error supera una tolerancia prefijada.

Por otro lado, se comprueba el enlace de forma interactiva, con el fin de asegurar que existe al menos dos puntos en cada zona de Von Gruber, y que, al menos, hay punto de enlace entre pasadas en cada área de enlace.

Ambos procesos son repetidos tantas veces como sea necesario hasta cumplir con las exigencias de precisión y de enlace del bloque. Como resultado, se obtiene la orientación relativa del bloque y su precisión interna. El cálculo y ajuste del bloque es un proceso iterativo en conjunto con la medición del apoyo topográfico. Se realiza por el método de ajuste de haces con parámetros de apoyo aerotransportado, por lo que en el ajuste final se dispondrá de información acerca de las precisiones tanto de los puntos de apoyo, como de los de paso y enlace, y de los parámetros GPS-IMU.

Para la generación de las ortofotos y mosaico se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan.



**Figura 3.** Mosaico y cartografía Ubaté-Zipacquirá.

Por otro lado, el proceso de las imágenes oblicuas no requiere más que generar una ubicación aproximada, desde el procesado inicial y conversión a un formato de fácil manejo para su análisis visual e interpretación.

### 7. ANÁLISIS GEOESPACIAL PARA DETECCIÓN DE INCUMPLIMIENTOS.

Ya teniendo todos los insumos básicos, el primer paso es realizar la inspección visual sobre las imágenes oblicuas en busca de posibles daños o inconsistencias visibles sobre imágenes de alta resolución, generación de fichas e inclusión dentro de una Base de Datos Geográfica (GDB). Con el sensor óptico oblicuo se pueden detectar los incumplimientos denominaos incumplimientos generales.

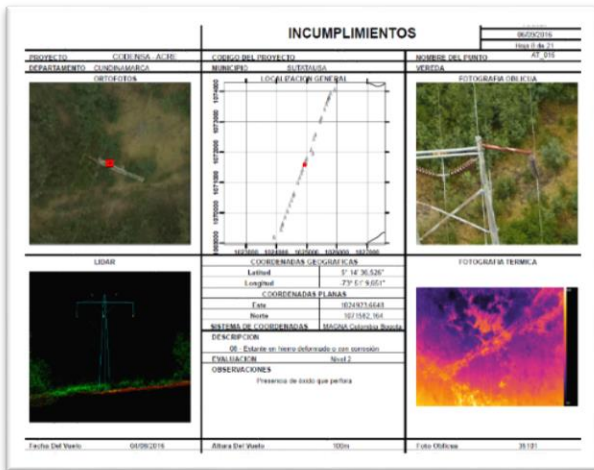


Figura 4. Ficha de incumplimiento general encontrado sobre imagen oblicua.

Partiendo de los datos LIDAR clasificados y editados, se procede a realizar análisis geoespaciales con la ayuda de herramientas especializadas, en busca de incumplimientos sobre distancias mínimas de seguridad, para esto se tiene como base la norma RETIE, donde se definen claramente estas distancias.

El procedimiento consiste en hacer análisis de proximidad entre las redes eléctricas con todos los elementos que la componen y cualquier otro tipo de objeto que se encuentre a una distancia dada.

Los resultados del análisis espacial con todas las zonas de incumplimientos son estructurados en

una base de datos geográfica, en donde se organizan para generar las fichas e informes finales, los cuales van a servir como insumo de los trabajos posteriores de intervención.

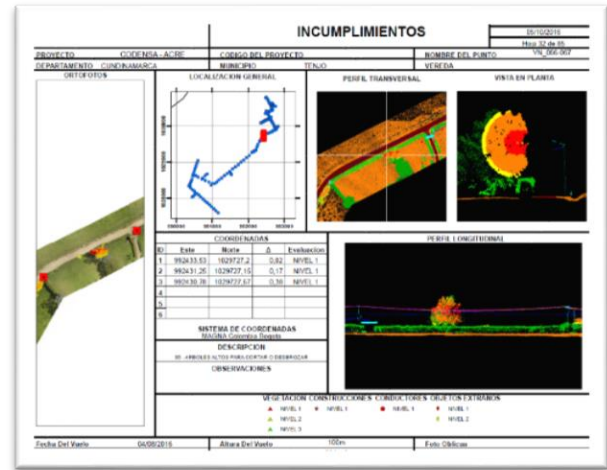


Figura 5. Ficha de incumplimiento por distancia mínima de seguridad sobre vegetación.

### 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Con el uso de sensores remotos es posible realizar el levantamiento de redes eléctrica con resultados que satisfacen la calidad y especificaciones del producto esperado.
- Es importante contar con el conocimiento teórico y técnico en las fases de procesamiento inicial, porque de esta etapa depende la calidad en posición de la información de LIDAR y fotogrametría.
- Antes de iniciar cualquier proceso de edición y clasificación de datos con fines específicos como el levantamiento de redes eléctricas es necesaria una capacitación previa, tanto en conocimientos básicos sobre redes como en el reconocimiento de un incumplimiento.
- Es importante organizar la información de forma estructurada en bases de datos geográficas, que nos permitan posteriores análisis y organización de la información; también entregando una forma efectiva para realizar consultas a futuro.



- Se generaron fichas e informes con información detallada para la intervención de los incumplimientos.
- Se concluye que el uso de sensores remotos con tecnología como LIDAR, combinado con técnicas más conocidas como la fotogrametría son la mejor combinación para la inspección de redes eléctricas.

#### REFERENCIAS.

- [1] 114fa9857-1697-44ed-a6b2-f6dc570b7f43.pdf. (s. f.-a). Recuperado a partir de <https://www.minminas.gov.co/documentos/10180/712360/Anexo+General+del+RETIE+2013.pdf/14fa9857-1697-44ed-a6b2-f6dc570b7f43>
- [2] 14fa9857-1697-44ed-a6b2-f6dc570b7f43.pdf. (s. f.-b). Recuperado a partir de <https://www.minminas.gov.co/documentos/10180/712360/Anexo+General+del+RETIE+2013.pdf/14fa9857-1697-44ed-a6b2-f6dc570b7f43>
- [3] Céspedes, J. E. S., & Castillo, J. N. P. (2007). LIDAR, last generation technology for urban planning and development. *Ingeniería*, 13(1), 67-76.
- [4] SIGLA. (s. f.). Recuperado 13 de junio de 2017, a partir de <http://www.sigla-sas.com/>
- [5] ENEL DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI INGEGNERIA E UNIFICAZIONE, ALLEGATO 1 ALLA SPECIFICA TECNICA “ESECUZIONE ISPEZIONI AEREE MT” ,2012