



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GLT/21
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

LAS TECNOLOGÍAS LIDAR, RADAR Y DE FOTOGRAFÍA AÉREA, UNA VENTANA AL FUTURO DEL DISEÑO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

**Uriel Cardenas Ramos
INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. - ISA**

RESUMEN

El presente documento describe las tecnologías de: LIDAR, RADAR y Fotografía Aérea Digital, su aplicación en el diseño de líneas de transmisión y su impacto en el mejoramiento de los procesos de trazado, plantillado y replanteo. La implementación de estas tecnologías crea una ventana de desarrollo, transformando los procesos convencionales de diseño en la ingeniería de líneas de transmisión.

ISA aplica estas tecnologías en la Interconexión Colombia-Panamá a 400 kV en DC, Cauca–Nariño a 115/34.5/13.2 kV en AC y Subestación Sogamoso a 500kV (Colombia) y actualmente en el desarrollo de 750 km de línea a 500 kV en Chile.

PALABRAS-CLAVE

Lidar, Radar, Fotogrametria-digital, Modelo-digital-de-terreno, Plantillado

1.0 - INTRODUCCIÓN

El presente artículo describe las tecnologías de sensores remotos desde aeronaves tripuladas empleadas en el diseño de líneas de transmisión. Se expondrá como el uso de estas tecnologías conlleva procesos orientados a la gestión de grandes volúmenes de información de alta precisión y detalle, para representar virtualmente la geografía del terreno sobre el cual se construirá una línea de transmisión.

El proceso de planeación, captura, procesamiento, edición y representación virtual de la geografía del terreno, se desarrolla para tener en la oficina la mayor fidelidad posible de la realidad geográfica del territorio sobre el cual se construirá el proyecto.

Sin embargo, y pese a que mediante diversas tecnologías de última generación se vislumbra un gran avance en la representación 3D del terreno y por ende, acercarnos aún más a una realidad virtual; estas tecnologías no reemplazan el trabajo de campo y la percepción del mismo que se obtiene en el contacto directo mediante la observación, identificación y evaluación de los aspectos geográficos del entorno del proyecto. Estas tecnologías apoyan, optimizan y mejoran el desarrollo de los proyectos a través de la integración de la realidad virtual y el contacto directo con el terreno.

En este artículo, se describirán las tecnologías de fotogrametría digital, radar y lidar, los instrumentos que las conforman, el proceso de captura, procesamiento y generación de información requerida para el diseño de líneas de transmisión. Se mencionarán los aspectos importantes de cada tecnología y las particularidades halladas en el desarrollo de los proyectos de Interconexión Colombia Panamá, Cauca Nariño (Popayán – Guapi) e interconexión Sogamoso. Por último se describirán los aspectos que mejoran el proceso de diseño de las líneas, se cualifica el

mejoramiento del diseño y como se proyecta a futuro el diseño de líneas de transmisión, resaltando su importancia en la nueva forma de realizar el diseño y los ajustes o adaptaciones que requerirá en dicho proceso.

2.0 - ANTECEDENTES

En el diseño de una línea de transmisión, la localización óptima de estructuras, comprende las siguientes etapas: Trazado preliminar en oficina, exploración y bandereo, trazado en campo, plantillado y replanteo de diseño.

El trazado preliminar se realiza en la etapa de prediseño de la línea. La exploración y bandereo se realiza con base en el trazado preliminar: se inspecciona el terreno, se verifican condiciones adecuadas para el desarrollo del proyecto y se ponen banderas para guiar el trazado.

El trazado realiza el levantamiento topográfico de tres perfiles, uno central y dos laterales separados 10 metros a izquierda y derecha del eje, que forman un corredor de 20 metros de ancho. En el corredor, se levantan detalles topográficos (sobre el eje y los laterales) cada 50 metros, o a distancias menores cuando se presenta un cambio topográfico representativo. Se identifican y ubican los detalles geográficos como: perfiles laterales, construcciones, accesos, cauces, etc. Es fundamental ubicar y medir estos elementos, su omisión causará problemas o errores en el diseño de la línea.

El plantillado, realizado en PLS-CADD (Software para el diseño electromecánico de líneas de transmisión), incorpora los perfiles topográficos y los parámetros electromecánicos de cables y estructuras, para generar la ubicación óptima de estructuras.

El replanteo verifica la ubicación de cada torre, ratificando o variando su posición. En el sitio de torre, se levantan los perfiles topográficos de las diagonales de patas, y se realizan estudios de resistividad y de capacidad portante del suelo.

La topografía del corredor de 20 metros ancho, permite realizar el plantillado (Ubicación óptima de estructuras), garantizando que el conductor no tenga acercamientos al terreno y cumpla con las distancias de seguridad eléctrica.

El PLS-CADD, con base en los tres perfiles topográficos, genera un modelo digital de terreno (MDT o DTM en inglés – “Digital Terrain Model”), sobre el cual modela torres y cables para hallar la ubicación óptima de estructuras teniendo en cuenta la pendiente del terreno y garantizando el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad eléctrica establecidas por la norma.

Si bien, el modelo digital de terreno obtenido a partir del levantamiento topográfico convencional comprende todos los elementos básicos y necesarios para realizar el plantillado, este mismo modelo digital puede ser obtenido mediante tecnologías de sensores remotos garantizando los requerimientos mínimos necesarios para realizar un plantillado de estructuras confiable y válido.

Los sensores remotos son dispositivos que capturan información de la superficie de la tierra mediante cámaras fotográficas o sensores que emiten señales o pulsos de energía hacia la tierra, miden el tiempo de viaje y retorno, y calculan la distancia entre el emisor y el punto que retornó la señal. Esta tecnología permite obtener imágenes fotográficas y de otro tipo, generar modelos digitales de elevación de un terreno con presiones en el plano horizontal (XY) y vertical (Z) desde los 30 o 40 metros hasta unos 10 cm.

En un sistema de coordenadas geográficas convencional, la X corresponde la orientación Este Oeste, la Y corresponde a la orientación Norte Sur y la Z representa la altura sobre el nivel del mar, es decir, la cota.

La tecnología de sensores remotos opera desde satélites o aeronaves. Los sensores remotos satelitales se componen de equipos similares a los que operan en aeronaves, pero con características más complejas y variadas. Capturan imágenes fotográficas del mundo de media y alta resolución, que permiten identificar personas, vehículos, etc. Igualmente toman datos topográficos del terreno con base en los cuales se ha generado un modelo digital de terreno a nivel mundial.

Los sensores remotos operados desde aeronaves, utilizan cámaras fotográficas, sensores de radar y lidar, entre otros, para fotografiar y obtener modelos digitales de terreno con precisiones que varían entre 5 metros y 10 cm o superiores, valores muy cercanos a la topografía convencional.

3.0 - TECNOLOGÍA DE SENSORES REMOTOS – TSR

3.1 Fotogrametría Digital

La fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de sensores remotos que mediante la toma de fotografías aéreas y puntos de control en campo (Puntos de GPS “Global Position System”), genera un ortofotomapa y un modelo digital

del terreno (MDT). La fotografía aérea se toma con cámara fotogramétrica convencional (Rollo fotográfico de 23 x 23 cm.) o digital de alta resolución y los puntos de control son ubicados en el plano horizontal con coordenadas XY y en el plano vertical con altura sobre el nivel del mar (Z), con equipos de GPS de alta precisión (Superior a 1 metro).

El ortofotomapa es un fotomosaico sin deformaciones y con información propia de un mapa: Curvas de nivel, vías, cauces, poblaciones e infraestructura en general) de un área específica. Ver Figura 1. El MDT equivale a la reconstrucción virtual del relieve de la zona fotografiada.

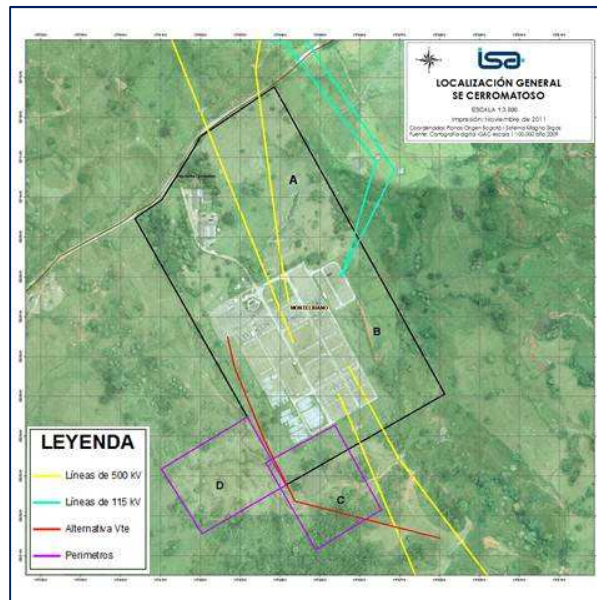


FIGURA 1 – Ortofotomapa de la Subestación Cerromatoso

Los productos de la fotogrametría digital son empleados en proyectos de ingeniería, ambientales y comerciales. La naturaleza de estos proyectos requiere de información geográfica precisa del terreno sobre el cual se desarrollan, por ello el gran aporte del ortofotomapa y del MDT.

La fotogrametría se basa en el principio de visión estereoscópica, resultado de la simulación de la visión humana, la cual observa un objeto desde dos puntos diferentes (los ojos), envía las imágenes, el cerebro las integra y forma la visión tridimensional de lo observado. La visión tridimensional de una colina, se logra fotografiándola desde dos puntos diferentes; ambas fotos registran la colina y por fotogrametría se reconstruye la visión tridimensional de la misma. Ver una colina desde el aire, permite a la visión humana estimar su radio y altura mientras que la fotogrametría puede hacerlo con una precisión específica y en unidades métricas.

3.2 Tecnología de Radar

El RADAR (RADio Detection And Ranging) es una tecnología de sensores remotos que mide la distancia a un objeto o punto en el terreno desde naves espaciales (Radares satelitales) o desde aeronaves como avionetas o helicópteros (Radares terrestres). Un radar se compone de: Transmisor, sensor activo, antena, receptor y colector de datos. Emite pulsos de radio y luz de gran potencia con longitudes de onda entre 1 y 100 cm (1). La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

La técnica radar, conocida como Radar de Apertura Sintético (SAR), es un tipo de sistema de radar modificado para producir imágenes de pulsos de energía (microondas). Las microondas permiten operar de noche o bajo condiciones de nubosidad densa, por lo tanto es la tecnología adecuada para trabajos en zonas muy nubladas y con abundante vegetación.

La energía de las microondas no es afectada por las cubiertas nubosas, por lo tanto es capaz de obtener una alta calidad en zonas tradicionalmente nubosas como los polos o los trópicos. En regiones con vegetación muy abundante, puede penetrar en la cubierta vegetal y en la imagen resultado podrá diferenciarse la superficie situada bajo la vegetación (1).

Esta tecnología genera dos productos: Un modelo digital de terreno (MDT) y modelo digital de superficie (MDS o

DSM en ingles "Digital Surface Model"). El MDT representa la topografía del terreno desnudo, es decir, sin vegetación u otro elemento sobre el suelo, y el Modelo digital de superficie (MDS) representa el relieve sobre la cobertura vegetal y los otros elementos o infraestructura existente sobre el terreno. Ver Figura 2.

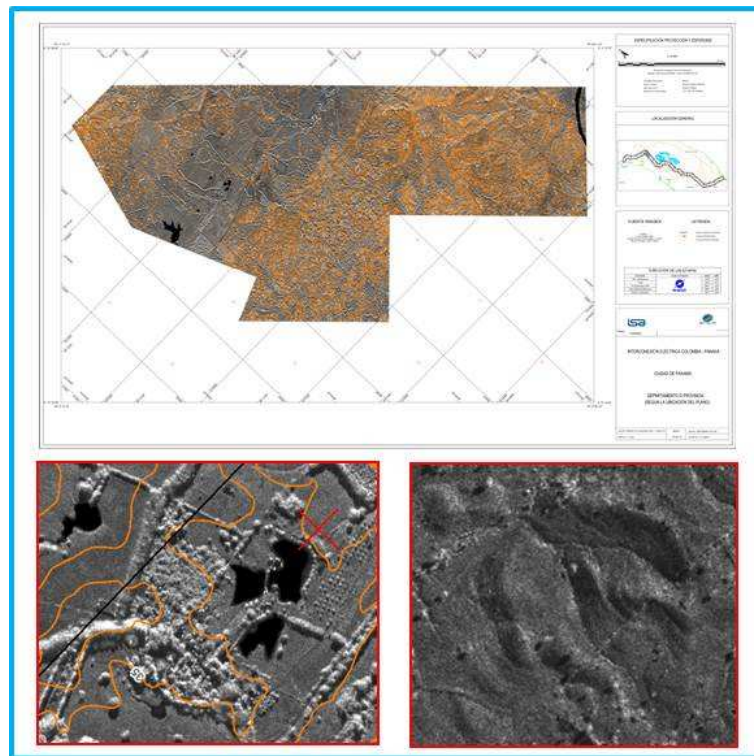


FIGURA 2 - Mapa con imágenes de Radar. Imagen inferior izquierda: Modelo digital de superficie.
Imagen inferior derecha: Modelo digital de terreno.

3.3 Tecnología Lidar

El LIDAR (Light Detection And Ranging), es una tecnología de sensores remotos que mide la distancia a un punto en el terreno desde aeronaves de ala fija (Avioneta) o hélice (Helicóptero). Es un sistema que obtiene una nube de puntos del terreno mediante un escáner láser aerotransportado (ALS). Los componentes del LIDAR son: ALS Escáner Láser Aerotransportado, GPS Diferencial, INS Sistema Inercial de Navegación y Cámara fotográfica (No fotogramétrica).

El sistema de GPS Diferencial, usa un receptor en el avión y varios en estaciones de control terrestres (en puntos de coordenadas conocidas), para obtener la posición y altura del avión. El sistema lidar determina la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz laser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. Por cada pulso emitido se pueden captar 2 o más ecos, permitiendo recoger información a diferentes alturas de un mismo objeto. Por ejemplo, sobrevolando una zona arbolada, el primer eco corresponderá a la copa de los árboles y el último a la superficie terrestre (2).

Es una tecnología rápida y fiable para obtener datos tridimensionales, capaz de alcanzar una exactitud de 10 a 15 cm en altura o superior. Tiene el mismo principio que el RADAR (Radio Detection And Ranging). La precisión de los datos obtenidos por lidar dependen de: Frecuencia del pulso, altura de vuelo, diámetro del rayo láser (depende del sistema), la calidad de los datos GPS / IMU y el post proceso.

La tecnología lidar genera tres productos: Un modelo digital de terreno (MDT) y modelo digital de superficie (MDS) y un ortofotomapa (Opcional). El MDT y MDS son productos con características similares a los descritos en el numeral (RADAR). El ortofotomapa posee las mismas características del generado por fotogrametría. Ver figura 3.



FIGURA 3. Imagen de un Modelo Digital de Superficie – MDS de Lidar.

4.0 - LA TSR EN LOS PROYECTOS DE TRANSMISIÓN DE ISA

La tecnología de sensores remotos ha sido utilizada por ISA desde principios de los años 90, época en la cual se adquirieron imágenes de satélite SPOT y LANDSAT para análisis de vegetación y otros aspectos ambientales. En el año 2001 se inició el uso de imágenes de satélite y se dieron los primeros pasos hacia el uso de un modelo digital de terreno en el prediseño de líneas de transmisión.

En el año 2002, se inician los análisis de la fotogrametría digital como base tecnológica para mejorar el prediseño y diseño de líneas de transmisión. Se concluyó que era viable utilizar la visión tridimensional del terreno, el ortofotomapa y el modelo digital del terreno con una precisión media de 1 metro en los planos horizontal (XY) y vertical (Z), para elaborar el prediseño, los estudios ambientales, el trazado y plantillado de una línea y agregar valor a la gestión predial.

En el año 2006 se usa la Fotogrametría digital, Radar y Lidar en el prediseño y diseño de la interconexión Colombia Panamá a 450kV en HVDC, en el 2010 en la interconexión Cauca Nariño a 115 kV, 34.5 kV y 13.2 kV en AC, en 2011 en el diseño de la subestación Sogamoso a 500kV. Actualmente aplica esta tecnología en las interconexiones : Cardones-Maitencillo, Maitencillo-Pan de Azúcar y Pan de Azúcar-Polpaico, en Chile.

5.1 Proyecto de Interconexión Colombia Panamá

El Proyecto consistirá en la construcción de una línea de transmisión eléctrica a +/- 450 kVDC, con una longitud aproximada de 613 km (338 km en territorio Colombiano y 275 km en territorio Panameño), en HVDC (High Voltage Direct Current), entre la subestación Cerromatoso en Colombia y Panamá II en Panamá, capacidad de transporte de 600 MW en configuración bipolar.

En el año 2001 la interconexión avanza en los estudios de factibilidad. En el año 2006 se realizan los estudios de prefactibilidad y se inician los estudios de viabilidad técnica, ambiental y económica. En el año 2011 se inician los prediseños e ingeniería básica y el Estudio de Impacto Ambiental y Social -EIAS.

En el año 2006 se toman las fotografías aéreas de un corredor de 5 km de ancho por 613 km de largo con centro en el eje del trazado realizado con base en las alternativas dadas por el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA). El ancho del corredor fue determinado para tener 2.5 km a lado y lado del eje, previendo los desplazamientos durante el ajuste del trazado.

La alta precipitación, los pocos accesos y el clima del área hicieron compleja la toma de fotografías aéreas y la ubicación en campo de los puntos de control con GPS. Fue imposible fotografiar 110 km de línea, en los alrededores del Lago Bayano en Panamá debido a la nubosidad permanente. Se requirió entonces el uso de tecnología RADAR para obtener la topografía del terreno. La captura de datos se realizó con un Radar de Apertura Sintético (SAR), para generar imágenes de pulsos de energía (microondas) y obtener el modelo digital de terreno (MDT) y un modelo digital de superficie (MDS).

Al final, el corredor del proyecto queda cubierto en un 82% con por fotogrametría digital y un 18% por Radar. Los productos finales: 31 ortofotomapas y modelos digitales de terreno (MDT) con 1 metro de precisión en XYZ y un

modelo virtual en 3D del todo el corredor.

El modelo virtual en 3D del corredor permitió ver: Cobertura vegetal, cauces e infraestructura en general, con tal detalle que fue posible identificar zonas inundadas, cultivos, inferir la tipología de algunas viviendas, evaluar pendientes longitudinales y laterales, identificar procesos de inestabilidad y de socavaciones de orillas, entre otros aspectos importantes para la adecuada ubicación de alineamientos y sitios de torre. La superposición de la información ambiental de los estudios del proyecto permitió verificar y dimensionar la magnitud de los impactos reales y potenciales ocasionados por la implantación del proyecto.

En el diseño permitió realizar el plantillado teniendo en cuenta los elementos geográficos determinantes para la adecuada ubicación de las estructuras. En las actividades de replanteo ha permitido verificar la ubicación de los sitios de torre y confirmar o reubicar los sitios en un ejercicio similar al realizado cuando se plantilla con base en la topografía convencional. Ver Figura 4.

En el tramo levantado con fotogrametría digital (82%) se obtuvo: Un ortofotomapa con una resolución de 20 cm. por pixel, un MDT con 1.0 metro de precisión en XYZ y un Modelo virtual en 3D. En el sector restante (18%) se obtuvo: Un MDT y un MDS con 1.5 metros de precisión en XYZ.



FIGURA 4. Localización general del proyecto. En amarillo el tramo levantado con Radar.

El ortofotomapa, el MDT y Modelo virtual en 3D han sido insumos fundamentales para ajustar el trazado de la línea de transmisión, realizado mediante el trabajo interdisciplinario ambiental, predial y de ingeniería, en oficina y con controles en campo. El ejercicio evidencia la conveniencia y excelentes resultados del trabajo interdisciplinario con información actualizada y detallada de un proyecto.

El MDT y el ortofotomapa han sido incorporados en el PLS-CADD para realizar el plantillado, a través del cual se ajusta progresivamente el trazado al reubicar estructuras para mejorar el diseño. Resultado: ubicación óptima de estructuras en modo virtual.

Actualmente, se realiza la verificación en campo de los sitios de torre obtenidos del plantillado virtual. La verificación comprende: ubicación geográfica del sitio de torres con base en las coordenadas del plantillado virtual, verificación del estado actual del sitio (La fotografías fueron tomadas en el 2007), registro fotográfico y evaluación cualitativa de las condiciones de estabilidad del sitio.

A futuro, ingresará el equipo de trabajo de campo para evaluar integralmente las condiciones del sitio de torre, realizar estudio de suelos, de resistividad y levantar topográficamente las diagonales de patas. En oficina se plantillarán patas y se diseñarán las cimentaciones.

Los productos de la fotogrametría digital, han agregado alto valor al desarrollo del proyecto, toda vez que desde el 2008 ha sido fuente de información y de consulta en los análisis y evaluaciones de variantes y demás actividades, en las que se ha requerido el uso de información geográfica.

5.2 Proyecto de Interconexión Cauca Nariño

El Proyecto de Interconexión Eléctrica a 115 kV interconectará las poblaciones de Popayán (Región Andina), Guapi (Costa Pacífica - Cauca), Francisco Pizarro (Costa Pacífica - Nariño) y poblaciones cercanas. Tiene por objeto el

desarrollo de los trabajos requeridos para la interconexión eléctrica de algunos municipios de la Costa Pacífica Cauca-Nariño al Sistema de Transmisión Nacional (STN).

El proyecto se encuentra en la región sur occidental del país (Departamentos de Cauca y Nariño), caracterizada por dificultades de acceso, lejanía de los centros poblados y el conflicto armado. Entre las poblaciones de Los Ángeles y Belén (Cruce de la cordillera Occidental) y Timbiquí a López de Micay (Andén Pacífico) fue imposible realizar trabajos de campo para el diseño (Año 2010- 2011). Se evaluaron tecnologías de sensores remotos para el levantamiento topográfico del terreno en estos dos tramos. Se incluyó el sector Alto Guandipa Mosquera (Línea entre las SE Olaya Herrera y Mosquera) por las prolongadas duraciones de la marea alta, lo que retrasó y dificultó enormemente el levantamiento topográfico convencional. Ver Figura 5.



FIGURA 5. Localización general del proyecto. En azul celeste los tramos levantados con Lidar.

Se exploran las tecnologías de Fotogrametría digital, Radar y Lidar, para generar un MDT y con base en él realizar el trazado y plantillado de 170 km de línea innacesibles. La fotogrametría digital fue descartada ya que requería instalar puntos de control en inmediaciones de las tramos innacesibles. La tecnología Lidar fue considerada a pesar del riesgo de no capturar información por la nubosidad permanente de la región. La tecnología de Radar era la mas adecuada para el objeto y por la capacidad de capturar información con nubosidad permanente.

Se evaluaron las tecnologías de Radar y Lidar. El Radar permite capturar información con nubosidad permanente, genera MDT y MDS con precisión máxima de 1.5 m en XYZ, requiere ubicar puntos de control (Prismas con coordenadas XYZ precisas) dentro de la zona innacesible, el cronograma es de 6 meses. El Lidar solo captura información con visibilidad (Sin nubosidad), genera MDT y MDS con precisión media de 1 m en XYZ, puede ubicar puntos de control por fuera de la zona innacesible, el cronograma es de 2 meses. Con base en los aspectos mencionados, se selecciona la tecnología Lidar a pesar del alto riesgo de retrasos en la entrega de los productos debido a la permanente nubosidad de las zona del proyecto, pero favorecida por la posibilidad de capturar la información y garantizar la precisión ubicando puntos de control por fuera de las zonas innacesibles, proporcionando mayores posibilidades de éxito con respecto a la Radar.

La selección de la tecnología evaluó específicamente: Cronograma, logística, metodología y precisión. Al final del ejercicio ganó la tecnología Lidar por menor tiempo de ejecución, no requería entrar a la zona de alto riesgo, metodológicamente más simple, mayor precisión, y mejor conocimiento del comportamiento climático de la zona y mayor experiencia en el desarrollo logístico requerido en la zona.

Los productos Lidar se generaron para tres (3) corredores: Los Ángeles - Belén de 90 km de longitud por 5 km de ancho, Timbiquí - López de Micay de 50 km de longitud por 2,5 km de ancho y Olaya Herrera - Mosquera de 30 km de longitud por 2.5 km de ancho. Ver Figura 5.

Se obtuvo: Un MDT y un MDS con 0.5 metros de precisión en XYZ. El proveedor suministró fotografías aéreas individuales del todo el corredor usadas para el control del proyecto, a pesar de no haber sido contratado este producto.

El MDT obtenido permite detallar: Cauces mayores y quebradas, vías de acceso, colinas y depresiones del terreno. El MDS obtenido permite detallar: Construcciones, centros poblados, vías de acceso, cobertura vegetal alta y baja, masas de bosques. En la Figura 6 se aprecia el nivel de detalle obtenido.

Las fotografías aéreas suministradas son de alta resolución (10 cm. por pixel), permiten detallar: Construcciones, caminos, accesos, tipos de vegetación, animales domésticos, personas, etc. Ver Figura 7.

Con base en el MDT se ajustó el trazado de la línea en los tre (3) tramos, teniendo en cuenta: cercanía a accesos, topografía moderada a suave, pendientes lo más bajas posibles, alejamiento de centros poblados y de zonas con inestabilidad manifiesta o potencial. Definido el trazado, se realizó el plantillado de estructuras y patas.

En el tramo Los Ángeles Belén, el eje de trazado se movió hasta 2 km del eje, evitando las fuertes pendientes. No obstante, el plantillado virtual presenta sitios de torre con pendientes muy fuertes, los cuales fueron evaluados in situ (En sitio) y ajustados durante el replanteo de construcción.

En el tramo Timbiquí López de Micay, el trazado tuvo pocos desplazamientos debido a su moderada topografía.

En el tramo Olaya Herrera Mosquera, el MDT evidencia una superficie muy plana, entre otras razones por la inundación prolongada durante el día debido al régimen de mareas. El trazado se ajustó en la medida que se hallaron montículos a cualquier porción de terreno que sobresalía del espejo de agua.

En Junio de 2012 se inició el replanteo de construcción del tramo Los Ángeles Belén. Se coordinó la logística para ingresar a la zona y realizar los trabajos de campo: Ubicar sitios de torre, evaluar ubicación y estabilidad, realizar estudios de suelos y resistividad, y levantar diagonales de patas.

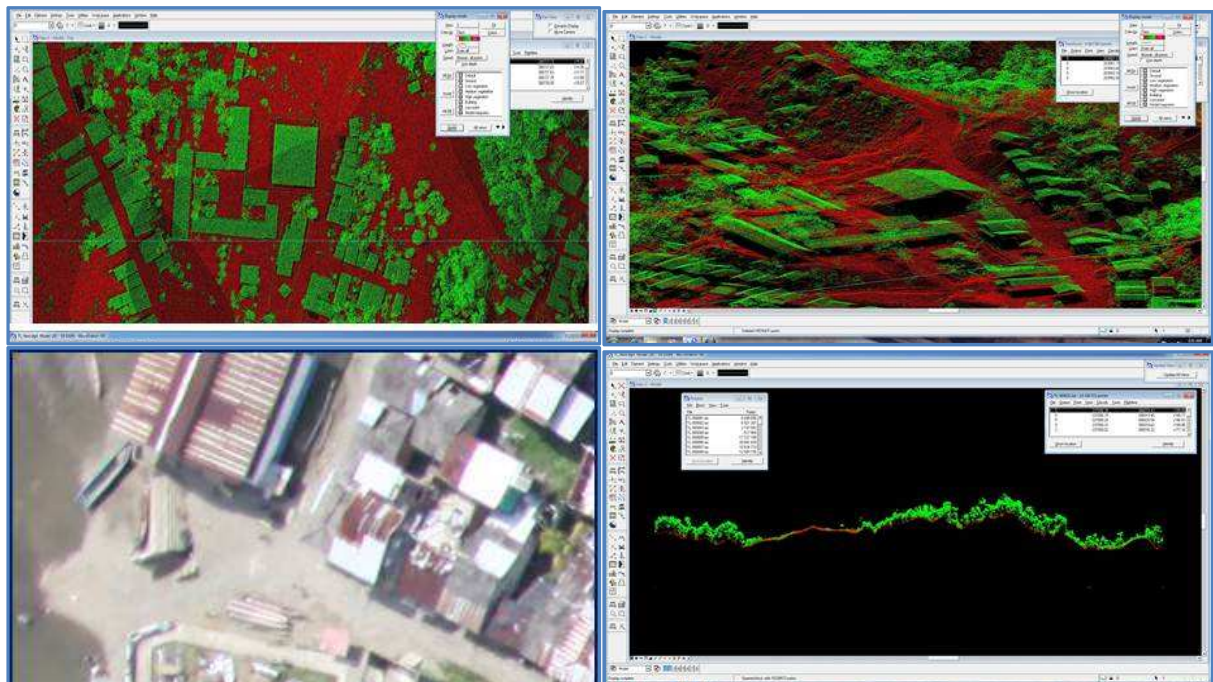


FIGURA 6. Vistas en planta (superior izquierda), perspectiva (superior derecha), perfil (inferior derecha) de la imagen lidar y fotografía aérea (inferior izquierda), de una población en el tramo Timbiquí López de Micay del proyecto Guapi.

Los productos de LIDAR, han agregado alto valor al desarrollo del proyecto ya que dieron solución a la inexistencia de información topográfica para realizar el plantillado de algunos tramos del proyecto, y por tanto, realizar el diseño al 100% del proyecto.

Para la ingeniería, agrega gran valor como alternativa de solución para los casos en los que no se puede realizar el levantamiento topográfico convencional, sin descartar que el LIDAR y la Fotografía aérea en su conjunto se han convertido en el método de levantamiento topográfico más eficaz desarrollado hasta el momento, y por ende la tecnología del futuro en el diseño de líneas de transmisión.

5.0 - CONCLUSIONES

El uso de la tecnología de sensores remotos es una maravillosa fuente de información del terreno que agrega gran valor al trazado, plantillado y replanteo en el diseño de una línea de transmisión. Implica replanteamientos y ajustes metodológicos en los procesos asociados al levantamiento topográfico y al análisis interdisciplinario ambiental, predial y de ingeniería en las etapas de diseño y construcción.

Los sensores remotos, inicialmente se presentan como una alternativa de solución al levantamiento topográfico convencional, pero en el presente y en un futuro cercano será el método que reemplazará la topografía convencional.

El uso de las tecnologías de sensores remotos agrega valor al diseño y construcción de líneas de transmisión en calidad y oportunidad; en costo lo será en el futuro cercano. En calidad garantiza una precisión alta y uniforme en todo el proyecto. En oportunidad se aproxima a los tiempos de la topografía convencional, agregando valor en análisis y prediseño de variantes en corto tiempo y con altos niveles de certidumbre. En costo, aún es ligeramente superior a los valores de la topografía convencional, en un futuro cercano será igual y posteriormente más económica.

La tecnología LIDAR y la fotogrametría Digital integradas constituyen una solución tecnológica muy valiosa para el levantamiento topográfico de alta precisión en proyectos de líneas de transmisión. Hay que considerar las condiciones climáticas particulares ya que la nubosidad no permite la captura de información. El LIDAR ha revolucionado la fotogrametría digital, la cual convencionalmente ha sido una solución tecnológica muy valiosa para la generación de ortofotomapas y modelos digitales de terreno con precisiones hasta de 1 metro. Actualmente la tecnología LIDAR ha ganado terreno en la generación de modelos digitales de terreno de alta (hasta 10 cm) y extra alta precisión (de 1 a 2 cm).

La tecnología RADAR es una solución tecnológica muy valiosa para el levantamiento topográfico de precisión en proyectos de líneas de transmisión, en regiones de alta precipitación y nubosidad en donde el desarrollo de los trabajos de campo y la utilización de fotografías aéreas y lidar puede no ser exitoso.

6.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ITURRATE, Eduardo. Curso básico de teledetección con ENVI [online]. 1998 [citado Junio de 2012]: <http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/>
- (2) GOMEZ, Alonso. Obtención de DTM y DSM mediante tecnología Lidar. Aplicación al río Ebreo. [online]. Sin fecha [citado Junio de 2012]: <http://www.ingegraf.es/pdf/titulos/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/T14.pdf>

7.0 - DATOS BIOGRÁFICOS

- Uriel Cárdenas Ramos
- Manizales – Caldas – Colombia. 06 de Junio de 1967
- Geólogo - Universidad de Caldas.1993. Manizales, Caldas, Colombia
- Especialista en Sistemas de Información Geográfica - Universidad San Buenaventura.2004. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Cargo Actual: Analista de Ingeniería en Estructuración de Ofertas y Lider SIG en la Gerencia de Proyectos de Infraestructura. Interconexión Eléctrica S.A. ISA – Medellín. Año 2012 - 2013
- Experiencia profesional:
 - Geologo consultor en estudios ambientales y proyectos hidroeléctricos y viales. Año 1993 – 1998.
 - Profesional en Sistemas de Información Geográfica. Proyecto Implementación Base de Datos Espacial de ISA. Año 1998 – 2005.
 - Analista Ambiental y Especialista SIG, Gerencia Proyectos de Infraestructura. ISA - Medellín. Año 2005 – 2008.
 - Analista de Ingeniería y Especialista SIG, Gerencia Proyectos de Infraestructura. ISA – Medellín. Año 2008 – 2012.
 - Docente en Fotogrametría para Ingeniería Civil. Universidad Cooperativa de Colombia. Medellín. Año 2002 – 2004.