

# **EL SISTEMA LIDAR**

ESCUELA DE AGRIMENSURA  
DPTO. GEOTOPOCARTOGRAFIA  
CATEDRA DE FOTOGAMETRIA  
2003

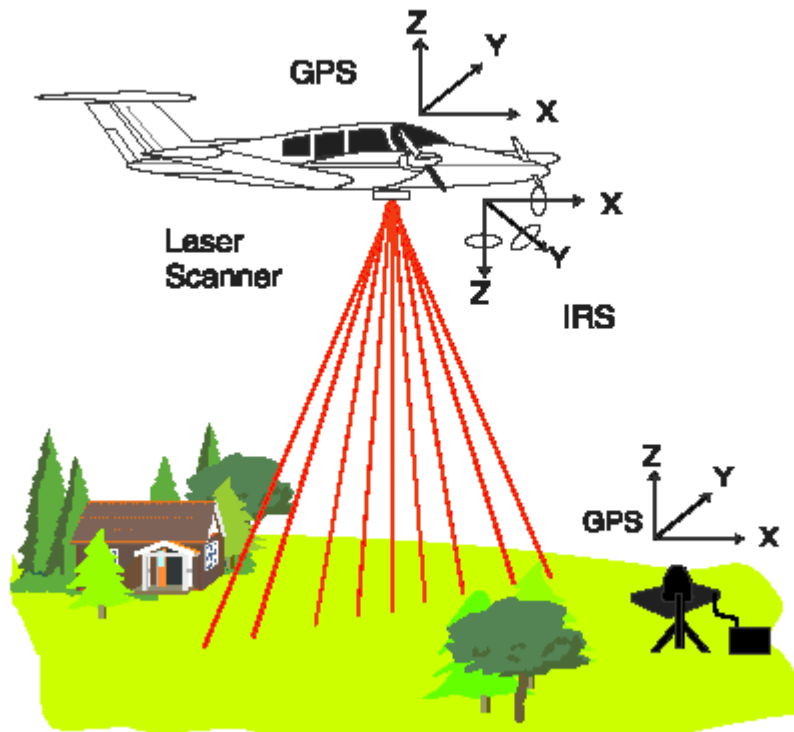
## El Sistema LIDAR

### Resumen

Este trabajo sobre el **Sistema LIDAR** pretende proveer al lector una introducción sobre una bien pensada tecnología utilizada para adquirir Modelos Digitales de Elevación (DEM) del terreno y marinos. Ambos el terrestre y el marino, son sistemas basados en la utilización de láser, integrados en el sistema conocido como **LIDAR (Light Detection And Ranging)**.

El trabajo comienza con una introducción al sistema **LIDAR**, y continúa con la utilización del mismo describiendo las variantes terrestres y marinas indicando las precisiones que se pueden obtener. Se indican las líneas generales de aplicación de los datos obtenidos y la capacidad de esos productos de ser integrados en un GIS. Para terminar el trabajo se presentan evidencias del desarrollo de sus aplicaciones.

Donde sea válido se presentarán comparaciones de **LIDAR** con otras tecnologías de cartografía conocidas para obtener conclusiones. En algunos casos la combinación de **LIDAR** con otras tecnologías crea un resultado que no es posible obtener trabajando aisladamente. Finalmente se presentan una serie de conclusiones y experiencias de los usuarios del sistema.



### Qué es LIDAR

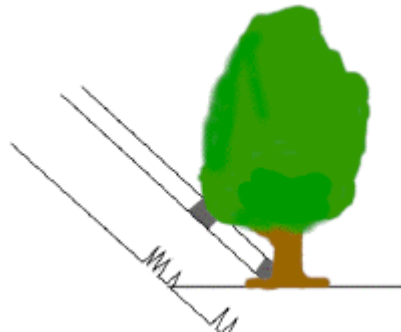
En un nivel funcional **LIDAR** es típicamente definido como la integración de tres tecnologías en un único sistema capaz de obtener datos para producir precisos modelos digitales de elevación (DEMs). Esas

tecnologías son: Láseres, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Sistema de Navegación Inercial (INS). Combinados, ellos permiten ubicar la posición de un rayo laser sobre el terreno con un alto grado de exactitud.

Los láseres son muy exactos en su capacidad de alcance y pueden proveer distancias con precisión de unos pocos centímetros. Las limitaciones de exactitud en el sistema **LIDAR** son debidas fundamentalmente al GPS y al INS, no obstante es posible obtener un alto grado de exactitud utilizando **LIDAR** desde plataformas en movimiento como las aeronaves.

El sistema **LIDAR** combina un único rayo estrecho de laser con un sistema receptor. El láser produce un pulso óptico que es transmitido, reflejado por un objeto y regresa al receptor. El receptor mide precisamente el tiempo de viaje del pulso desde que es emitido hasta que regresa. Con el viaje del pulso a la velocidad de la luz, el receptor registra el retorno antes de que el próximo pulso sea emitido. Como la velocidad de la luz es conocida el tiempo de viaje puede ser convertido a distancia. Combinando el alcance del láser, el ángulo de examen del mismo, la posición desde el GPS y la orientación desde el INS, pueden calcularse en forma precisa las coordenadas x,y,z del terreno para cada pulso. La emisión del láser puede ser regulada desde unos pocos pulsos por segundo a decena de miles de pulsos por segundo, de esa manera grandes volúmenes de pulsos son colectados. Por ejemplo si un láser emite pulsos a 10.000 veces por segundo serán registrados 600.000 puntos por minuto. Un espaciamiento típico consiste es separar los puntos en el terreno entre 2 y 4 metros.

Algunos sistemas **LIDAR** pueden registrar “retornos múltiples” desde el mismo pulso. En sistemas semejantes parte de los rayos puede golpear en la parte más alta del follaje de los árboles, mientras otra parte de los mismos golpea en las hojas y ramas inferiores del mismo y otro grupo golpea sobre el terreno, luego son reflejados y finalizan en una serie de registros de “ retornos múltiples” teniendo cada uno una posición x,y,z. Esta característica puede ser ventajosa cuando se aplica para calcular elevaciones no sólo del terreno sino también de árboles y de construcciones.

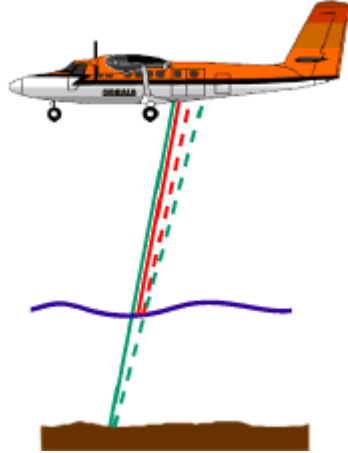


Como las características de la superficie del terreno varían y cambia la reflexión de los rayos láser el sistema **LIDAR** posee habilidad para registrar los cambios en el retorno de la señal. Por ejemplo un láser utilizado para aplicaciones topográficas no penetrará el agua y proporcionará muy pocos datos sobre la superficie del cuerpo de agua. Donde la aplicación necesite calcular coordenadas x,y,z bajo la superficie del agua una tecnología **LIDAR** diferente será utilizada.

### **LIDAR HIDROGRAFICO vs LIDAR TOPOGRAFICO**

El sistema **LIDAR** Hidrográfico Aerotransportado (**ALH**) ha estado bajo desarrollo desde mediados de la década del 60. Existen en la actualidad media docena de sistemas **ALH** en operación y uno de los más avanzados y digno de confianza es el “Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey”, o sistema **SHOALS**. Este ha sido descrito como uno de los más versátiles sistemas **LIDAR** Hidrográficos utilizados hoy en el mundo y el mismo es propiedad del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

Hay varias fundamentales diferencias entre el sistema **SHOALS** y el sistema topográfico **LIDAR**. La principal diferencia es que el sistema **SHOALS** utiliza dos rayos láser variables mientras los topográficos utilizan un rayo solamente, además la longitud de onda de los láser es diferente en cada sistema, la mayoría de los **LIDAR** topográficos utilizan rayos emitidos en el infrarrojo cercano mientras el sistema **SHOALS** utiliza un rayo en la longitud del infrarrojo que es reflejado por la superficie del agua y detectado por el receptor y un rayo en la longitud del azul-verde que penetra la superficie del agua y es reflejado desde el fondo, la



diferencia de tiempo entre las dos señales determina la profundidad del cuerpo de agua. Otra diferencia entre ambos sistemas, el topográfico y el hidrográfico es la frecuencia en que es emitido el rayo láser, mientras en el topográfico es de 30000 Hz en el sistema **SHOALS** se emite en una relativamente baja frecuencia ya que los pulsos son emitidos a 400 Hz.

Una interesante diferencia final entre el sistema **SHOALS** y el **LIDAR** es la energía requerida para operar cada uno. Mientras el sistema topográfico puede ser utilizado desde un pequeño aeroplano o helicóptero en el hidrográfico se requiere utilizar mucho más poder, esto es debido a que es necesario que el rayo tenga el poder suficiente para penetrar el agua a la profundidad necesaria para mapear el fondo. Típicamente el **SHOALS** puede medir profundidades hasta 50 metros dependiendo de la claridad y turbidez del agua, esto es una de las mayores limitaciones del sistema para aplicaciones submarinas.

## PLATAFORMAS DE ADQUISICION

La mayoría de los sistemas **LIDAR** utilizan pequeños o medios aeroplanos de ala fija. Una plataforma típica sería un Cessna 206/210, un Piper Navajo o equivalente. Estos aeroplanos pueden requerir algunos ajustes adicionales para el montaje y potencia suplementaria pero un avión equipado para fotogrametría puede ser utilizado sin problemas para un sistema **LIDAR**.

Existen sistemas **LIDAR** topográficos que pueden ser utilizados desde un helicóptero y algunos han sido diseñados para operar exclusivamente en este tipo de plataformas. Los más usuales son Robinson R44's a Enstrom F28s o el Bell 206.

Los sistemas **SHOALS** requieren plataformas más grandes como el aeroplano DeHavilland Twin Otter o el helicóptero Bell 212.

Por ejemplo el costo de un helicóptero Bell 212 puede ser U\$S 3000 por hora mientras un Bell 206 tiene un costo de U\$S 900 por hora. Esta diferencia de costo puede ser similar cuando comparamos aeroplanos.

Los sistemas **LIDAR** son operados por la NASA en plataformas espaciales como la Space Shuttle.

## EXACTITUDES ESPERADAS

Existen varios factores que afectan la exactitud de un sistema LIDAR. Los componentes del sistema como el GPS, la Unidad de Medición Inercial y el Láser tienen limitaciones en la exactitud las cuales son conocidas y pueden ser predecidas. Otros factores que afectan la exactitud del producto final son el planeamiento del vuelo, las condiciones del vuelo, los efectos atmosféricos, las ondulaciones del terreno y la cobertura vegetal, por tal motivo los mismos son cuidadosamente evaluados al realizar un trabajo. Es importante también que se establezca un control de calidad el que incluye una cantidad suficiente de puntos de control en regiones representativas del área del proyecto.

Dado que es posible predecir los errores asociados al GPS, IMU y Láser, la exactitud resultante de los puntos LIDAR (x,y,z) se puede describir como una función del tipo de terreno y de la cobertura vegetal. Donde la densidad de puntos es suficiente la exactitud del DEM resultante podría considerarse como un reflejo de la exactitud del punto.

Debido a las variaciones del terreno y la vegetación se obtienen las siguientes exactitudes en el punto (los valores presentados tienen un nivel de confianza del 95%, 2 sigma).

### Exactitud Vertical Típica

- +/- 0.15 metros en superficies firmes y terreno abierto
- +/- 0.25 metros en superficies blandas o con vegetación, terreno llano
- +/-0.30 a 0.50 metros en superficies blandas o con vegetación, terreno de colinas

### Exactitud Horizontal Típica

- +/- 0.50 a 0.75 metros  
en terreno extremadamente movido (dependiendo de la altura de vuelo y la divergencia de los rayos)

En áreas de vegetación muy densa como bosques tropicales, el porcentaje de puntos láser que llega al terreno decrece y esto afecta la exactitud del DEM resultante. Cuidadosas prácticas de levantamiento son requeridas para asegurar un DEM aceptable generado bajo esas condiciones.

Para sistemas SHOALS, las exactitudes típicas son las siguientes

### Exactitud Vertical Típica

- +/- 0.15 metros (dependiendo de la turbiedad del agua)

### Exactitud Horizontal Típica

- +/- 3.0 a 15 metros

Aunque no es fácil obtener un “terreno real” como en el LIDAR topográfico, es posible mejorar el resultado del trabajo al colocar reflectores submarinos desde los cuales los rayos azul-verde retornan al instrumento emisor y al analizar dichos datos corregir la información de los rayos provenientes del terreno. Esos reflectores son también utilizados para determinar la turbidez del agua por variación de la profundidad del reflector y el análisis de la señal de retorno.

## DATOS DE PRODUCTOS LIDAR

Uno de los hechos inherentes de los datos de **LIDAR** es que los mismos son adquiridos, procesados y entregados en formato digital. Esto hace que sea muy fácil trabajar con **LIDAR** y crear productos que cubran un ancho rango de necesidades. La manera más simple de adquisición de los datos es en archivos de formato ASCII conteniendo coordenadas x,y,z, los cuales corresponden a las coordenadas geográficas de la posición tridimensional de los puntos de retorno de señal, dichos puntos pueden asociarse a puntos del terreno, construcciones árboles o cualquier otro objeto sobre el cual el rayo se haya reflejado.

Los archivos ASCII de coordenadas x,y,z pueden ser importados a varios paquetes de softwares y especialmente a GIS. El manejo de estos datos puede crear un caudal de productos y fusionarse con otro tipo de datos, es posible en un GIS crear un modelo digital de elevaciones (DEM) de tipo raster y crear modelos de superficie sombreada los cuales son muy realistas, con el mismo DEM es posible crear ortomapas mediante fusión de los datos con imágenes obtenidas por fotografías aéreas convencionales o mediante cámaras digitales. Algunos sistemas menos precisos **LIDAR** y el sistema **SHOALS** pueden registrar los datos en imágenes de video VHS o SVHS los cuales pueden ser fusionados con DEM para producir mapas menos precisos pero que igualmente brindan información valiosa.

Programas como AutoCad, ArcView y ERDAS por nombrar solamente a los más conocidos tienen capacidad para importar y exportar datos **LIDAR** desde uno a otro. El problema principal que se presenta en los software es la capacidad que tienen de manejar una cierta cantidad de puntos al mismo tiempo, considerando que un programa de trabajo **LIDAR** topográfico o hidrográfico podría cubrir cientos de kilómetros cuadrados puede contener millones de puntos. Algunos usuarios han desarrollado software para manejar esos volúmenes de datos y los desarrolladores de software de GIS y fotogramétricos han comenzado a tener en cuenta este problema. Como las computadoras son cada vez más rápidas y más potentes y los softwares siguen el mismo camino la tendencia es que este problema se solucionará a corto plazo.

## **EJEMPLOS DE APLICACION**

### Mapas de riesgo de inundación

El levantamiento con **LIDAR** es uno de los más rápidos y exactos métodos para producir un DEM, utilizando este modelo los hidrólogos pueden predecir la extensión de inundaciones y planificar estrategias de mitigación y corrección. La calidad de los mapas de riesgo depende de la exactitud de los datos utilizados y esto se aprecia notablemente en zonas de pequeños desniveles donde un pequeño incremento en el nivel del agua puede cubrir grandes superficies de terreno. En áreas con mucho relieve la exactitud del DEM no es tan crítica pero el conocimiento de las pendientes puede ayudar a predecir volúmenes de agua y características del flujo.

### Levantamientos para exploración de Petróleo y Gas

La industria petrolífera y gasífera necesita conocer de manera rápida coordenadas x,y,z de posiciones del terreno para programas de exploración, aunque las posiciones críticas deben ser obtenidas por otros métodos el sistema **LIDAR** provee de manera rápida los datos necesarios para realizar la cartografía de apoyo y limitar el área de trabajo factor muy importante para análisis de riesgo medioambientales en áreas muy sensibles. Los levantamientos típicos se realizan utilizando helicópteros como plataforma.

### Levantamientos para construcciones

Los levantamientos **LIDAR** están muy bien posicionados para producir datos de elevación en la construcción de caminos y en otros proyectos, a través de los DEM se pueden estimar los movimientos de tierra necesarios para la realización de las obras y con mejores exactitudes que los obtenidos por otros métodos. La creación de los DEM permite utilizarlos para planificar varios escenarios posibles para la instalación de la obra y elegir la mejor ubicación. Creando una ortofoto se puede proveer para cualquier obra de ingeniería la información planimétrica y altimétrica necesaria para la misma. Utilizando la tecnología **LIDAR** el tiempo entre la adquisición de los datos y la entrega terminada del producto Ortofoto-DEM puede ser mucho menor que el que se necesita utilizando cualquier otra metodología.

### Desarrollos inmobiliarios

Los levantamientos de tierras tradicionales para propósitos de desarrollos inmobiliarios consumen bastante tiempo y necesitan tareas intensivas debido a los requerimientos de exactitud que necesitan los DEM. El

sistema **LIDAR** ofrece a los desarrolladores inmobiliarios un camino efectivo para obtener rápidamente datos planialtimétricos en áreas urbanas, suburbanas y rurales con una mínima presencia de personas en el terreno. Para este tipo de trabajos se requiere una exactitud en la determinación de los puntos de 15 cm. a efectos de optimizar el diseño de los lotes y cumplimentar los requisitos para realizar desmontes y terraplenes.

#### Mapeo de ductos

La tecnología **LIDAR** es particularmente útil para levantamientos de ductos, especialmente si el sistema de adquisición es montado en un helicóptero dado que de esta manera se asegura obtener un riguroso set de datos ya que la velocidad y altura pueden ser ajustadas durante el vuelo y se puede seguir el trazado de los mismos con mayor exactitud. Es posible calcular alturas de líneas de transmisión, realizar inventarios, posicionar las torres, etc.

#### Mapeo de costas

La fotogrametría tradicional presenta a veces dificultades para ser utilizada en áreas de bajo contraste como las playas de arena, el sistema **LIDAR** tiene la capacidad de realizar levantamientos en esas zonas y además permite actualizar rápidamente los levantamientos de zonas de alta dinámica medioambiental, es muy útil para mapear fajas costeras, dunas, presas, bosques costeros y para modelizar oleajes durante tormentas y elevación del nivel del mar.

#### Vegetación

Una de las primeras áreas investigadas para aplicaciones comerciales de **LIDAR** era la industria forestal. Una exacta información del terreno y la topografía bajo la cubierta vegetal es extremadamente importante para los profesionales que manejan vegetación o recursos naturales. Información exacta de altura de árboles, densidades de vegetación y biomasa son muy importantes para la industria forestal.

#### Modelización urbana

Modelos digitales exactos son requeridos para variedad de aplicaciones incluyendo telecomunicaciones, tendido de líneas de comunicaciones, fuerzas de la ley y planificación de desastres. Modelos detallados de elevación de superficies pueden ser extraídos desde los datos de **LIDAR** y realizados por aplicación de softwares especializados de renderización.

#### Tendido de cables subacuáticos

Cada vez más cables son ubicados bajo la superficie del agua por tal motivo la demanda de información exacta de la estructura del terreno subacuático está en aumento. Aunque no es aplicable en situaciones de aguas profundas un **LIDAR** hidrográfico puede proveer datos para elegir las mejores rutas posibles para el tendido de un cable en profundidades de hasta 50 metros

### **CONCLUSIONES**

**LIDAR** ha revolucionado el ámbito de los levantamientos y mapeos, en términos prácticos los levantamientos hidrográficos han sido posibles utilizando esta técnica desde la década del 80 pero con el advenimiento de los GPS este sistema ha dado un gigantesco paso hacia delante al proporcionar datos exactos para dificultosas operaciones de levantamiento. La velocidad con que este sistema puede recolectar datos y también procesarlos comparados con cualquier otra tecnología permite cumplir con la demanda de los clientes más rápidamente con el consiguiente ahorro de costos. El sistema es muy flexible y sus datos pueden ser fusionados con imágenes para crear ortofotomapas. La posibilidad de cartografiar el terreno bajo la cubierta vegetal y bajo la superficie del agua demuestra la gran utilidad del mismo. Al poder realizar los levantamientos desde el aire y sin necesidad de acceder al terreno hacen del mismo muy útil para las zonas de riesgo ambiental. En síntesis este es un nuevo sistema que debe al menos ser analizado antes de emprender cualquier proyecto que implique relevar el terreno con el objeto de realizar su cartografía.