

**MARINA DE GUERRA DEL PERÚ
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA**



**Trabajo de investigación monográfico presentado para la Segunda
Especialidad Profesional en Hidrografía y Navegación**

“Levantamiento Hidrográfico con Sistema LIDAR”

Presentado por

Afgt. Jorge Luis Delgado Silva

Lic. Carmen Francia Espinoza

Asesor metodológico

C. de F. Jorge Vizcarra Figueroa

Asesor técnico-especialista

La Punta, 2015

Este trabajo está dedicado a mis padres, Jorge y Lastenia que siempre me han ayudado en todas las etapas de mi carrera; a mi hermana, Claudia quien siempre me ha apoyado para salir adelante y a mi abuela, Hilda, a quien siempre llevaré dentro de mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo al Capitán de Fragata Jorge Vizcarra Figueroa, mi asesor, él supo guiarme y brindarme todos sus conocimientos para poder desarrollar el presente trabajo monográfico, y quien a pesar de estar comprometido en diversas actividades y carga laboral siempre estuvo presente para orientarme en mi trabajo.

A la Dirección de Hidrografía y Navegación por la instrucción impartida durante el desarrollo de la 2da Especialidad en Hidrografía y permitirme complementar mi profesión.

También debo agradecer señorita Rejina Flores, quien labora en la empresa Lidar América LLC, por todo el apoyo e información que pudo brindarme sobre el sistema LIDAR para poder desarrollar el presente trabajo.

Finalmente, gracias a todas aquellas personas oficiales, instructores, personal que ha brindado su apoyo y ayuda, proporcionando información necesaria para el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación de la investigación	2
1.3 Objetivos de la investigación	2
1.3.1 Objetivos principales	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Metodología empleada	3
1.5 Antecedentes	3
1.6 Definiciones Conceptuales	5
1.7 Formulación de la Hipótesis	6
1.7.1 Hipótesis General	6
1.7.2 Hipótesis Secundarias	6

CAPÍTULO II: TRABAJOS HIDROGRÁFICOS

2.1 Batimetría	7
2.1.1 Ecosondas Monohaz	8
2.1.2 Ecosondas Multihaz	9
2.2 Topografía	10
2.3 Fotogrametría	12
2.4 Cartas de Inundación	16

CAPÍTULO II: SISTEMA LIDAR

3.1 El sistema LIDAR	19
3.2 Sistema LIDAR UAV	23
3.2.1 Características técnicas del sistema LIDAR UAV	24
3.2.2 Referencia económica del sistema LIDAR UAV	26

CONCLUSIONES	28
--------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
----------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación forma parte de la currícula del programa de Segunda Especialidad Profesional en Hidrografía y Navegación, el mismo que establece como tema el estudio, el Sistema LIDAR, tecnología moderna que viene siendo aplicada en Servicios Hidrográficos de países desarrollados, por lo que este trabajo de investigación va orientado a establecer la conveniencia o no de su utilización en la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), para la confección de las cartas náuticas así como las cartas de inundación.

La idea central de la investigación pretende explicar las dimensiones del sistema LIDAR como apoyo a los levantamientos hidro-oceanográficos, por ello las hipótesis se plantean en la implementación del Sistema LIDAR para la obtención de cartas Hidrográficas más precisas.

En cuanto al desarrollo de la de investigación se inicia con el capítulo I donde se establece el planteamiento del problema, así como los objetivos e hipótesis. En el capítulo II se desarrolla todas las técnicas que son usadas actualmente para la confección de cartas hidrográficas, métodos con ecosondas monohaz, multihaz, fotogrametría y topografía que se aplican en la Dirección de Hidrografía y Navegación en las distintos trabajos que se realizan.

Posteriormente en el capítulo III se detallan las características técnicas del sistema LIDAR, así como su forma de operación, sus restricciones para efectuar trabajos, y sus múltiples usos en el campo hidrográfico.

Continuando con el desarrollo, en el capítulo IV se presenta una selección de imágenes para comparar los resultados que nos puede presentar un levantamiento hidrográfico con el sistema LIDAR y lo que nos presenta, actualmente, los distintos equipos utilizados en la DHN para la elaboración de las cartas náuticas y cartas de inundación. Finalmente se establecen las conclusiones y recomendaciones.

En cuanto a las fortalezas de la investigación se puede indicar que se cuenta con información actualizada del sistema LIDAR. Las debilidades que se pueden señalar están referidas al factor tiempo pues para el desarrollo de la presente investigación se debió compartir con los estudios de asignaturas paralelas.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema

La Dirección de Hidrografía y Navegación para la elaboración de las cartas náuticas, efectúa trabajos de campo para la recolección de datos batimétricos utilizando para ello, ecosondas monohaz y multihaz instaladas en los buques, sin embargo estos buques no tiene la capacidad de acceder a determinados lugares, como islas, arrecifes de escasa profundidad, playas, etc., lo cual proporciona una cobertura incompleta del lecho marino; del mismo modo, se ve con la necesidad de obtener datos topográficos de las costas del litoral peruano para elaborar las cartas náuticas de papel, así como las cartas de inundación.

En ese sentido, el sistema LIDAR que significan sus siglas en castellano “Detección y Medición de Distancias por Luz” acrónimo de “Light Detection and Ranging”, es un sistema que combina un escaneo Light Detection And Ranging (LIDAR), aerotransportado sobre el terreno, con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que le brinda la posición exacta sobre el terreno y la Unidad de Medida Inercial (IMU) de la aeronave, que le brinda la orientación y posterior corrección del haz, logrando de este modo el mapeo de la superficie del terreno.

La batimetría con un láser escáner ha demostrado ser una técnica fiable, precisa, eficiente y segura para obtener información batimétrica y topográfica rápidamente cerca de la costa, playas y estructuras de ingeniería costera.

Es por este motivo que el trabajo de investigación busca responder a la siguiente pregunta, ¿De qué manera la Dirección de Hidrografía y Navegación podría implementar el del Sistema LIDAR en los Levantamientos Hidrográficos para la obtención de cartas más precisas?

1.2 Justificación de la investigación

Para la Dirección de Hidrografía y Navegación

La presente investigación reviste gran importancia, debido a que permitirá conocer la factibilidad de la implementación de trabajos hidrográficos utilizando el sistema LIDAR, ahorrando para la DHN, costos y tiempo de ejecución de los mismos.

Para el Departamento de Hidrografía

La presente investigación tiene la importancia de permitir obtener una cartografía de barrido detallada destinada a aplicaciones de hidrografía y proporcionando Modelos Digitales de Terreno (MDT) de amplias áreas para actividades sobre usos del suelo y cartográficas.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo principal:

Determinar en qué medida se podrá implementar en la Dirección de Hidrografía y Navegación, el Sistema LIDAR para los levantamientos hidrográficos (batimétricos y topográficos) y posterior obtención de cartas hidrográficas.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Establecer la eficiencia del sistema LIDAR al ser aplicado en trabajos batimétricos en el litoral peruano.
- Identificar la eficiencia del sistema LIDAR al ser aplicado en trabajos topográficos en el litoral peruano.
- Determinar la conveniencia del uso del sistema LIDAR en trabajos orientados al desarrollo de cartas de inundación.

1.4 Metodología empleada

En cuanto a la metodología empleada, el tipo de investigación responde al explicativo dado que el problema de investigación requiere reconocer cuales son las características del Sistema LIDAR para generar cartas náuticas, mientras que el diseño de investigación es el no experimental pues las variables de estudio ya están definidas en el contexto.

1.5 Antecedentes

Entre los antecedentes del problema se pueden citar:

Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp. 493-496.

Editores: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos.

En este trabajo se encontró que el sistema LIDAR brinda datos batimétricos muy precisos que ayuda obtener una muestra densa del fondo marino produciendo

mediciones exactas, así como se muestra en el resumen del paper correspondiente al congreso de la Asociación Española de Teledetección en el que dice lo siguiente:

En junio de 2008 se efectuó un levantamiento altimétrico de la zona estuárica y costera de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Vizcaya) mediante el nuevo Lidar batimétrico Hawk Eye MK II. Este sensor aerotransportado opera con un láser topográfico para la medición altimétrica del suelo terrestre, y un láser hidrográfico para el suelo sumergido. Este trabajo tiene dos objetivos principales: 1) evaluar la calidad de los datos del sistema Hawk Eye MK II, y 2) evaluar el potencial discriminador de la información Lidar para clasificar hábitats costeros y submareales, mediante métodos de clasificación supervisada. Este sistema ha permitido generar un modelo de elevación digital que cubre 13 Km² a 2m de resolución horizontal en el medio terrestre (RMSE vertical: $\pm 0,15$ m) y a 4m en el submareal, llegando a una profundidad de 20m (RMSE en fondos sedimentarios: 0,38-0,62 m, RMSE en fondo rocoso: 0,55-1,77 m). Los resultados de fiabilidad muestran que la clasificación del estuario y costa de Urdaibai en 22 hábitats fue bien clasificada ($\kappa = 0.88$), combinando bandas visibles, infrarrojo, y la información altimétrica del Lidar.

Otro antecedente corresponde a la Aplicaciones de la teledetección laser LIDAR en la caracterización y gestión del medio fluvial Fernando MAGDALENO Mas y Roberto MARTÍNEZ Romero.

Así se puede observar que el empleo del sistema LIDAR ayuda a tener una cartografía detallada de diversas zonas, según lo explicado por Fernando Magdaleno y Roberto Martínez en su investigación sobre la aplicación de la teledetección laser LIDAR en la caracterización y gestión del medio, en el cual nos dicen:

La tecnología LIDAR permite analizar, de manera efectiva, la microtopografía de los ecosistemas fluviales, y estudiar su interacción con diferentes componentes de los

mismos. Los modelos digitales generados a partir de los datos LIDAR permiten también analizar la distribución, a lo largo de la llanura de inundación, de las zonas de acumulación de agua. Estas zonas tienen una gran importancia ecológica, al ser puntos de acumulación de las sustancias orgánicasarrastradas por el agua tras el paso de las avenidas. Estas condiciones las convierten en espacios de especial interés desde el punto de vista de la diversidad biológica. Este es el caso de los brazos abandonados por el río como consecuencia de su dinámica natural y de las modificaciones artificiales en el régimen hidrológico. En el caso del Ebro, se ha constatado la posibilidad de estudiar la distribución de estas zonas, y de conocer sus características topográficas. Generalmente, los meandros y brazos abandonados se encuentran cubiertos en la actualidad por cultivos agrícolas. Al tratarse de zonas con topografía deprimida, en ocasiones se ha procedido al relleno parcial de las mismas y la instalación de barras artificiales de áridos, para evitar su inundación temporal durante el paso de avenidas. Gracias a la gran sensibilidad métrica del eje vertical que proporciona LIDAR, es posible realizar una detallada cartografía de estas zonas. Por esta misma razón, LIDAR puede convertirse a medio plazo en una herramienta de gran utilidad para el análisis y establecimiento de dominio público hidráulico. Por lo que respecta al estudio del balance sedimentario, LIDAR permite realizar también estimaciones detalladas de la acumulación de sedimentos en barras e islas a lo largo del cauce, y de los procesos erosivos desarrollados en él.

1.6 Definiciones conceptuales

- Aerotransportado: Que es transportado por vía aérea.
- Altimetría: Parte de la topografía que se ocupa de la medición de alturas
- Batimetría: Conjunto de técnicas para la medición de las profundidades del mar, los ríos, etc.

- GPS: Sistema americano de navegación y localización mediante satélites.
- LIDAR: es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado.
- Teledetección: Detección a distancia de informaciones que se producen en la superficie de la Tierra y sobre otros astros solares y que se realiza mediante satélites y sondas artificiales.
- Topografía: Técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.
- MDT: Es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.
- IMU: es un dispositivo electrónico cuyo objetivo es obtener mediciones de velocidad, rotación y fuerzas gravitacionales en forma autónoma.

1.7 Formulación de la hipótesis

1.7.1 Hipótesis general:

- Si se puede implementar el Sistema LIDAR se podrá obtener cartas Hidrográficas más precisas.

1.7.2 Hipótesis secundarias:

- Si se implementa el Sistema LIDAR tendremos datos más precisos en los trabajos batimétricos.
- Si se implementa el Sistema LIDAR tendremos datos más precisos en los trabajos topográficos.
- El Sistema LIDAR es conveniente para el desarrollo de cartas de inundación.

CAPÍTULO II: TRABAJOS HIDROGRÁFICOS

2.1 Batimetría

La batimetría es un procedimiento que el Hidrógrafo realiza en el campo con el fin de recolectar datos batimétricos (registro de profundidades en el agua), con un dato de posicionamiento ajustado a la Red Nacional de coordenadas, con el fin de confeccionar cartas náuticas que sean empleadas para la navegación u otros fines.

Los requerimientos para los levantamientos hidrográficos se presentan como resultado de una necesidad del navegante que le permita realizar una navegación segura, ya sea ésta para fines comerciales, deportivos, militares, etc., para lo cual se debe dar cumplimiento al Plan Cartográfico Nacional, donde se detallan las diferentes cartas náuticas que deben ser confeccionadas y su fecha de actualización.

El origen de un proyecto de levantamiento hidrográfico específico sigue una evaluación de todos los requerimientos conocidos y el establecimiento de prioridades. Entre los muchos factores que influyen en el establecimiento de prioridades están las metas nacionales y de la oficina, las mediciones cuantitativas y cualitativas de la navegación acuática, la suficiencia de levantamientos existentes, y del índice de cambio de la topografía submarina en el área.

En la actualidad la Dirección de Hidrografía y Navegación efectúa los levantamientos a lo largo de todo el litoral para poder actualizar las cartas náuticas y así poder brindar seguridad al navegante, para estos trabajos se utilizan dos (2) tipos de ecosondas: Monohaz y Multihaz.

2.1.1 Ecosonda Monohaz

Estas ecosondas son equipos que sirven para medir la profundidad mediante un intervalo de tiempo, entre la emisión del pulso sónico y el retorno de su eco desde el fondo marino.

Una ecosonda monohaz emite un solo haz acústico, obteniendo como resultado la profundidad en un punto, de este modo, a medida que el buque avanza, se obtiene un perfil puntual del fondo marino.

Este equipo de medición, que opera mediante ondas acústicas es usado para medir la distancia existente entre la superficie superior del agua y el fondo marino. Su principio de funcionamiento se basa en la medida del tiempo que tarda una onda acústica en recorrer la distancia existente entre el punto de inicio y el fondo del mar donde se refleja, y su retorno al punto de inicio.

La emisión y recepción acústica se realiza generalmente a través de un transductor que genera un solo pulso acústico que viaja hasta el fondo, produciendo un eco que regresa al sensor, el cual mide el tiempo de respuesta. Con la velocidad de sonido de la columna de agua y el tiempo empleado en regresar la señal, se puede conocer la distancia, en este caso profundidad.

Las burbujas producidas por el propio deslizamiento de la embarcación, cardúmenes de peces, algas marinas, relieve submarino irregular y niveles diferentes de temperatura de agua, pueden producir ecos falsos que requerirán de un estudio del ecograma y proceso hidrográfico más detallados, para evitar errores y determinar eficientemente el valor de la profundidad real.

Esta ecosonda monohaz tiene como componentes un transductor, es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía sonora y viceversa, un registrador, el cual posee 3 funciones (transmisión, recepción y registro), cable de datos y alimentación de energía y los controles de operación.

El rango óptimo de frecuencias se extiende entre los 15 y 200 KHz y se elige en función al tipo de equipo, naturaleza del fondo y profundidad, ya que a mayor frecuencia tendremos mayor alcance de la onda; sin embargo, la resolución será menor.

2.1.2 Ecosonda Multihaz

Esta tecnología permite un cubrimiento del 100% del fondo marino y consta de un conjunto de sondas que emiten ondas acústicas en varias direcciones a una determinada frecuencia, cubriendo así una mayor área y posibilitando la corrección de errores mediante la interpolación de los resultados obtenidos.

Además de precisión se gana rapidez y por tanto un ahorro significativo en el gasto que supone cartografiar una zona; asimismo es muy útil para la búsqueda de tuberías, cables y cañerías instalados en el fondo marino, control de dragado y búsqueda de embarcaciones sumergidas.

La ecosonda multihaz es un equipo hidroacústico, utilizado para realizar levantamientos batimétricos de precisión, siendo un requerimiento para áreas portuarias o de alto tránsito comercial.

Sin embargo existen factores importantes que afectan la propagación de los rayos acústicos emitidos por los transductores, es la variación vertical de la densidad en el

agua de mar, lo cual provoca que la velocidad de propagación del sonido sea diferente a distintas profundidades y se desvíe el rayo acústico. La densidad del agua cambia, principalmente, por las variaciones de temperatura, salinidad y presión, un factor que se presenta con mayor incidencia en las costas peruanas.

Las ecosondas multihaz tienen como componentes 2 transductores, que son los elementos que emiten y reciben los haces, una unidad de procesos, encargada de generar y procesar los haces y el software que procesa la información entregada por la ecosonda. Como componentes externos posee un GPS, que es el que le da la posición al sistema, un sensor de movimiento, un perfilador de velocidad del sonido y un girocompás, es el encargado de dar el rumbo preciso.

La gran ventaja de la tecnología multihaz es la cantidad de información que se consigue con un solo barrido sobre el área de interés. Esto permite asegurar que, a diferencia del ecosonda monohaz, no existan sectores sin información entre líneas.

2.2 Topografía

Etimológicamente la palabra topografía procede del griego "topo" = lugar, y "grafos" = dibujo. Se define como la ciencia y el arte de efectuar mediciones necesarias para determinar las posiciones relativas de puntos situados arriba, sobre, o debajo de la superficie de la Tierra, o de situar tales puntos en una posición especificada. La topografía es importante porque desde los tiempos antiguos ha sido necesaria para marcar límites y dividir terrenos.

El levantamiento topográfico es la descripción de la composición de aquellas partes de la superficie de la tierra que sobresalen del agua. Incluyendo el relieve de la costa

y la ubicación de accidentes y características naturales o artificiales que se puedan encontrar.

Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota. Se necesitan varios instrumentos, como el nivel y la estación total. El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, deslindes, amojonamientos y demás. Existen dos grandes modalidades:

Levantamiento topográfico planimétrico: es el conjunto de operaciones necesarias para obtener los puntos y definir la proyección sobre el plano de comparación.

Levantamiento topográfico altimétrico: es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las alturas respecto al plano de comparación.

El objetivo del levantamiento topográfico es determinar la posición relativa de uno o más puntos sobre un plano horizontal. A tal efecto, se miden las distancias horizontales y los ángulos horizontales o direcciones. También se busca determinar la altura (vertical) de uno o más puntos en relación a un plano horizontal definido. Para tal efecto, se miden las distancias horizontales y las diferencias de altura; y también se trazan curvas de nivel.

Los resultados de los levantamientos topográficos se emplean, por ejemplo, para:

- a) Elaborar planos de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel del mar.
- b) Trazar cartas de navegación.

c) Establecer límites en terrenos de propiedad privada y pública.

d) Evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campo magnético de la Tierra.

En algunos casos, muchos de los levantamientos topográficos pueden ser retomados vía procesos fotogramétricos.

2.3 Fotogrametría

Fotogrametría es la ciencia, arte y tecnología de extraer información de un par de estereoscopio para plasmarlo en un lienzo a una escala determinada.

El objeto de la Fotogrametría es pasar de la proyección central que constituye el fotograma a la proyección ortogonal que es el plano topográfico.

Una de las primeras aplicaciones de la fotogrametría fue sin duda la fotogrametría terrestre hoy derivada en fotogrametría cercana. Si se toma en el terreno dos vistas fotográficas con las placas verticales y a igual altura sobre el suelo pero separadas a una cierta distancia entre sí, las fotografías obtenidas tienen propiedades estereoscópicas.

La fotogrametría se ha convertido en una de las principales formas de incorporar información geográfica a un SIG, debido al buen compromiso que mantiene entre costo económico, velocidad de ejecución y precisión.

La secuencia del trabajo en fotogrametría se podría resumir en cuatro etapas:

a. Realización del vuelo fotogramétrico

Consiste en sobrevolar el territorio con un avión y tomar fotografías de eje vertical recubriendo el territorio con fotogramas que se solapen o traslapen tanto longitudinal como transversalmente.

Como norma general, estos traslapes suelen ser del 60% en el eje longitudinal y del 30% en el eje transversal, aunque dependiendo de la utilidad del vuelo estos porcentajes pueden variar notablemente.

Por otro lado, las cámaras que se utiliza para los trabajos, son denominadas cámaras métricas, son unas cámaras especiales de funcionamiento similar a la convencionales pero con una calibración muy exacta de sus parámetros ópticos, de los cuales el más importante es la distancia focal, definida como la distancia desde el centro del objetivo hasta el plano focal donde se ubica la película.

Las fotografías aéreas resultantes de un vuelo fotogramétrico no tienen una escala exacta, al ser el resultado de una perspectiva cónica y por el efecto ondulado del terreno. Así, cada punto dentro de una foto tiene su propia escala, dependiendo del lugar con respecto al centro de la foto y de la altura del terreno. No obstante, sí puede hablarse de una escala media de los fotogramas, que aunque no exacta es aproximada. Esta escala media mantiene una estrecha relación con los conceptos distancia focal, altura de vuelo y nivel promedio del terreno.

Generalmente la finalidad del vuelo es formar cartografía a partir de restitución fotogramétrica, en cuyo caso hay que tener en cuenta la escala de la cartografía que pretendemos. Aunque no hay una fórmula fija que relacione la escala media de las fotos con la escala de la cartografía a restituir, se puede decir que normalmente esta

es $\frac{1}{4}$ de la escala media de los fotogramas. Por poner un ejemplo, para formar cartografía a escala 1/5,000 se puede encargar el vuelo a escala media 1/20,000.

Dado que las fotografías de un vuelo fotogramétrico se ordenan en pasadas y en números consecutivos dentro de cada pasada, estos dos datos son fundamentales de cara a encontrar fotos de una zona concreta. Para ello se utiliza el denominado gráfico de vuelo, que no es otra cosa que un mapa que lleva graficada la distribución de las fotos con respecto al territorio.

b. Apoyo topográfico del vuelo

Consiste en realizar un trabajo de campo en el que utilizando diversos métodos e instrumental topográfico se procede a identificar en términos de coordenadas x,y varios puntos sobre el terreno.

A los puntos identificados se les denomina puntos de apoyo o control que más tarde en la fase de restitución servirán de base para dotar de coordenadas al resto de elementos presentes en cada par estereoscópico.

A partir de la observación de puntos con coordenadas bien conocidas, como pueden ser las redes de vértices geodésicos, se aplican diversos métodos topográficos que permiten conocer las coordenadas de los puntos que hemos seleccionado para que nos sirvan de apoyo. El número de puntos de apoyo es variable en función del tipo y precisión del trabajo, así como del uso de técnicas de asistencia al apoyo con la aerotriangulación.

c.- Aerotriangulación

El objetivo que se busca es reducir el número de puntos de apoyo de campo (puntos con coordenadas del terreno conocidas) necesarios. Se coloca en el avión un

sistema de GPS conectado a la cámara aérea que registra los datos necesarios para calcular la posición (X,Y,Z) de la cámara en el instante de cada toma. Posteriormente se calculan dichas posiciones y se introducen en las ecuaciones de la aerotriangulación con lo que el bloque queda más "robusto".

La aerotriangulación permite reducir de forma considerable el número de puntos de control terrestres medidos en el campo (un punto por modelo estereoscópico en vez de seis) y ahorrar hasta 75% - 80% el trabajo de campo, midiendo y calculando coordenadas reales vía software de medición de coordenadas instrumentales.

d.- Restitución

La restitución es la última etapa dentro de la secuencia de trabajo en fotogrametría. En ella se junta todo el trabajo anterior (vuelo y apoyo) para trazar los mapas propiamente dichos.

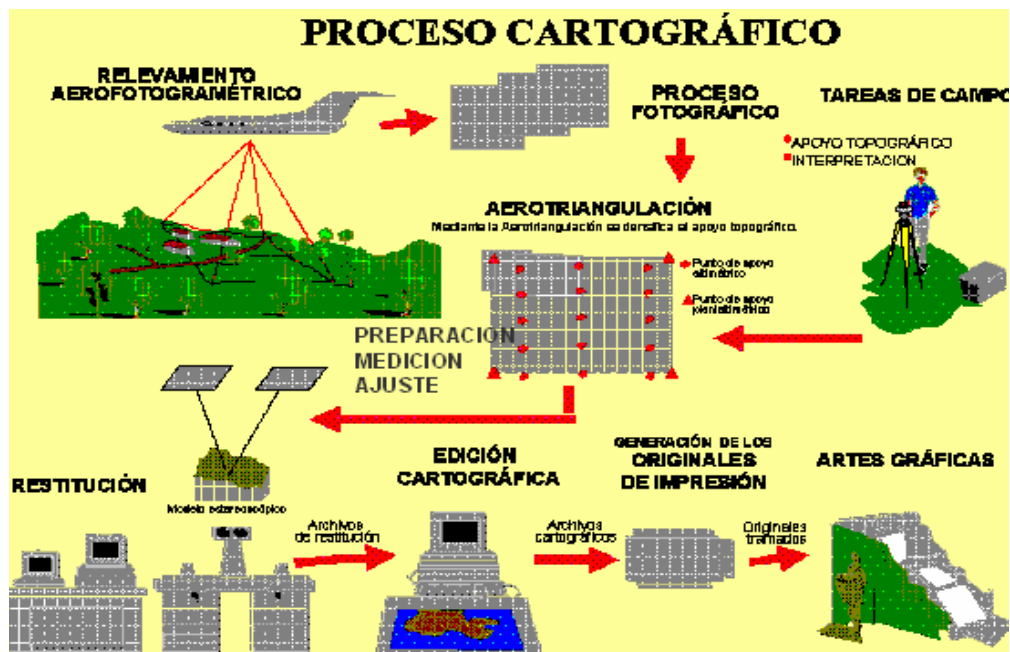


Figura 1: Proceso cartográfico. DHN 2013

2.4 Cartas de inundación

El levantamiento de información para zonas de peligro de tsunami tiene como objetivo proporcionar información confiable y oportuna de apoyo para saber el nivel que pueda llegar a tener un desastre; por lo cual, la evaluación de las zonas para determinar la elaboración de la cartografía, es establecida por prioridades, entre las principales podemos decir que se encuentra las zonas de costa frente o cerca a la ubicación de los Gaps Sísmicos, localidades urbanas costeras donde podamos encontrar población permanente y la actualización de cartografía ya existente, debido a variaciones catastrales.

Para la confección de cartas de inundación se necesita utilizar el modelo numérico de simulación con el fin de obtener mapas de inundación por tsunamis, para efectos de previsión y mitigación de desastre.

La principal importancia de la elaboración de las cartas de inundación radica en que su aplicación permitirá tomar acciones oportunas para la prevención de los desastres causados por algún tsunami que se genere a lo largo de las costas del Perú.

El comportamiento que se produce en la tierra luego de un tsunami es bastante complejo, debido a que existe la influencia de varios factores, lo cuales se conjugan de diversos modos. Sin embargo, la batimetría y sobre todo la topografía son informaciones básicas que permiten delimitar las zonas inundables con cierto nivel de confianza.

Los modelos numéricos de inundación en caso de tsunami son modelos que permiten saber hasta donde se podrá inundar las diversas zonas a lo largo de litoral luego de que las olas generadas por un tsunami lleguen a las costas de una región específica. Siendo esto muy importante ya que esto permitirá tener una idea

aproximada de cuál sería el daño que un fenómeno de esta magnitud causaría en una región. Al saber cuáles serían los daños que provocarían el fenómeno, se podrá elaborar las rutas de evacuación, las construcciones que se encuentren en estas zonas tendrán que fortificar sus estructuras y sobre todo se podrá lograr que los efectos negativos que causen este desastre natural se vean aminorados.

Actualmente se han desarrollado varios modelos de simulación numérica de tsunami. Todos estos modelos se basan en la teoría de propagación de ondas en aguas someras y en el desarrollo e integración de las ecuaciones de continuidad y momentum lineal por medio de método de diferencias finitas.

En la DHN utiliza el modelo numérico TUNAMI para realizar la simulación de inundación en caso de tsunami de alguna zona de la costa. TUNAMI es el acrónimo de Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of tsunamis que en español significa Modelo de Análisis Numérico para la investigación de tsunamis de la Universidad de Tohoku. Este modelo resuelve en forma numérica las ecuaciones momentum lineal para aguas someras. El resultado de las ecuaciones diferenciales determinan, según Jiménez (2013) *“la deformación del terreno, la altura de la onda del tsunami en la costa, los tiempos de arribo, la obtención de vectores de velocidad de corrientes y la generación de mareogramas simulados en puntos específicos de la costa”*.

Para poder hacer correr este modelo se necesita que el personal que el operador se una persona con experiencia en el tema, ya que se necesitan conocimientos profundos sobre los principios de funcionamiento. Los datos que se deben ingresar al modelo son los parámetros que presenta el sismo, epicentro, magnitud, coordenadas, profundidad y las dimensiones de la ruptura de la placa; así como

también el Modelo Digital de Elevación de la batimetría y topografía del lugar donde ocurriera el sismo.

CAPÍTULO III: SISTEMA LIDAR

3.1 El sistema LIDAR

El término LIDAR es un acrónimo de “Light Detection and Ranging”. Su traducción literal sería “detección y medición de la luz”, se trata de un sistema láser de medición a distancia que originalmente era utilizado con fines militares; sin embargo en la actualidad se ha convertido en una técnica alternativa para ser utilizado en topografía y fotogrametría para la generación de modelos digitales de terreno (DTM). La sistema LIDAR ha ido evolucionando a lo largo de los años gracias a todos los trabajos de investigación realizados, no obstante su paso al mercado comercial es muy reciente y es utilizado a menudo en los campos de ciencia e industria para la toma de medidas precisas en objetos lejanos e inaccesibles, recientemente esta técnica se está introduciendo en el campo de la cartografía puesto que permite la modelización rápida del terreno en zonas con accesos difíciles. Con este moderno equipo obtenemos información en todo tipo de terreno, ya sea plano, ondulado, montañoso con o sin vegetación.

Para los equipos aerotransportados con tecnología LIDAR solo se precisan puntos de control en tierra y la aeronave con equipo montado realiza el levantamiento del área.

El sistema LIDAR está compuesto por un emisor/receptor y un escáner láser muy potente, un receptor GPS que proporciona la posición y altura del avión en cada momento y un sistema inercial (IMU) que detecta y mide los giros del avión y de su trayectoria, el elemento principal de un sistema LIDAR es el escáner láser montado en la aeronave y que emite hasta 500,000 (quinientos mil) pulsos de luz infrarroja por segundo que sirven para determinar la distancia entre el sensor y los

puntos del terreno, la toma de datos se realiza desde un avión a una altura variable según el tipo de proyecto, durante el vuelo, se toman medidas en los tres subsistemas de los que dispone el LIDAR (GPS, IMU y láser), de forma independiente pero con una etiqueta de tiempos acorde con el tiempo GPS, estas etiquetas serán las que permitan sincronizar todas las medidas en el post-proceso.

En el post-proceso mediante filtros se puede llegar a separar la información por capas, con la posibilidad de poder extraer parte de la vegetación y dejar solo el terreno para la modelación del mismo y la generación de las curvas de nivel, obteniendo información en corto tiempo y con alta precisión.

Después del vuelo los datos GPS y los datos IMU se integran mediante un software para determinar la trayectoria del vuelo y los giros en cada instante. Estos elementos más el ángulo de salida que ha formado el pulso láser con respecto a la vertical, se combinan para determinar la línea imaginaria que ha descrito el pulso láser en el espacio.

Finalmente la longitud del camino descrito por el rayo, los giros definidos por los sistemas inerciales, y la posición del escáner láser obtenido a partir de las medidas GPS, se utilizan para determinar las coordenadas NEZ en el sistema WGS84 de todos los puntos medidos, así como datos complementarios como ser intensidad y número de retorno de cada punto.

Para asegurar una correcta transformación entre sistemas de coordenadas, se calibran los diferentes subsistemas de forma individual y conjunta, tanto en el laboratorio como en el terreno antes del vuelo. Para el escáner se calibran tanto los elementos geométricos como radiométricos del láser y muy especialmente la posición relativa respecto al sistema inercial.

Es de destacar que un sistema LIDAR, puede discriminar entre múltiples respuestas recibidas de un mismo pulso (hasta 4 retornos) permitiendo determinar las superficies intermedias, como líneas de tensión o coberturas vegetales.

Gracias a la recepción de los múltiples retornos y a la aplicación de filtros adecuados, se puede analizar la información recibida, discriminando entre los diferentes pulsos e identificando el tipo de superficie objeto de la medición.

A partir de la gran cantidad de pulsos recibidos se emiten unos 240,000 pulsos por segundo y se recibe el 90 % de los pulsos emitidos más sus retornos, se genera un modelo digital de elevaciones de altísima densidad. Como mínimo un DTM LIDAR es tres veces más denso que un DTM fotogramétrico. Se obtiene una nube de puntos superabundante que permite modelar el terreno con el máximo detalle. Esta nube de puntos tendrá una cantidad de puntos medidos mayor que con cualquier otra técnica existente. La precisión que se obtiene con el sistema LIDAR es de +/-10cm en XYZ.

Hoy en día se impone cada vez con más fuerza el uso de Modelos Digitales de Terreno (DTM) obtenidos a partir de la técnica LIDAR, ya que ofrece una serie de ventajas respecto a las técnicas utilizadas tradicionalmente, donde podemos destacar la precisión, rapidez y la posibilidad de obtener un modelo digital de elevaciones (DSM).

El sistema LIDAR ofrece las siguientes ventajas por encima de los métodos topográficos convencionales:

- Levantamientos topográficos en corto tiempo y alta precisión
- Operación de día

- Adquisición eficiente de millones de puntos levantados por hora
- Mayor rapidez en adquisición de coordenadas
- Método completamente digital
- Rápido procesamiento
- Captura de múltiples respuestas por pulso con intensidad
- Datos densos, el espaciamiento típico entre punto es de 10 centímetros a 1

metro

- Precisión en elevación de +/- 10 centímetros
- Fácil de instalar y desmontar (aerotransportable)
- Método de medición muy discreto con capacidad de acceso en áreas remotas.

Diferencia entre un levantamiento topográfico y la fotogrametría.

Topográfico:

- Tiene un costo más económico
- Modelo Digitales de Elevación y de Terreno
- Contornos
- Clasificaciones de vegetación, edificaciones, cuerpos de aguas, tierra
- La información puede ser georeferenciada
- El procesamiento se realiza con un software
- Precisión de datos depende de la altitud del vuelo, calidad de la solución de GPS y el terreno.

Fotogrametría:

- Consiste de puntos en 3D, Líneas y polígonos y usas traslapos de fotografías para calcular las elevaciones.
- La precisión, el nivel de detalle y el tamaño del área determina el precio.
- Toma más tiempo y esfuerzo para realizar un levantamiento fotogrametría.

- En áreas con densa vegetación puede ser difícil reconocer la tierra.
- Fotogrametría requiere acceso directo de puntos de suelo fijos.

Un levantamiento topográfico es un sumamente importante porque se entrega la información necesaria y requerida, así es como el LIDAR adquieren mucha importancia en lo que es cartografía, en las industrias de minas, arquitectura, arqueología y varias entre otras.

3.2 Sistema LIDAR UAV

El uso de drones en los últimos años para levantamientos aéreos ha incrementado por su tamaño compacto pero sobre todo la capacidad de carga que tienen y por su versatilidad de operación a pesar de las condiciones climáticas. Teniendo como ventajas su fácil operación, piloto automático, implementación rápida, es perfecto para ser usado en áreas pequeñas y urbanas con accesos difícil, se puede utilizar para escaneo de carreteras, puentes, túneles, etc., y algo muy importante es que no es afectado por la presencia de las nubes.

- Software para el sistema LIDAR con post-proceso de trayectoria usando explorador inercial NovAtel / Waypoint
- FOG navegación avanzada: GPS robusto que ayuda en la navegación inercial del sistema AHRS y que proporciona la posición exacta, velocidad, aceleración y orientación bajo las condiciones más exigentes
- Antena Molinillo NovAtel 702GG, de doble frecuencia, ambas antenas ofrecen recepción de señal GPS y GLONASS

- Software avanzado de procesamiento LIDAR que proporciona tareas adicionales para la nube de puntos permitiendo la clasificación automática así como la extracción de las características a datos de vector GIS
- Helicóptero industrial RC con capacidad para programación de líneas de vuelo, piloto automático (incluyendo despegue y aterrizaje) para fotogrametría
- Cámara Nikon D800 de 36.3 megapíxeles y lente con apertura máxima de 24 mm.

3.2.1 Características técnicas del LIDAR UAV

TABLA 1

DRON DJI Spreading Wings S1000+ (Especificaciones técnicas)

Distancia diagonal entre ejes	1146mm
Longitud del Marco de Brazo	436mm
Peso del Marco de Brazo	325g
Centro Diámetro Marco	337mm
Peso Diámetro Marco (con Tren de Aterrizaje, Base de Montaje)	1520g
Tamaño de Tren de Aterrizaje	510mm(Length)×511mm(Width)×305mm(Height)
StatorSize	42x16mm
kV	310rpm/V Max Poder 375W
Peso (con Ventilador)	205g
Alimentación de Poder	40 ^a
Voltaje de poder	6S LiPo
Señal de Frecuencia	30Hz ~ 450Hz
Peso(con Radiadores)	35g
Hélices Plegables	Z-blade series/ 17in.
Material	High strength performance engineered plastics
Tamaño	15×5.2 in.
Peso	13g
PARÁMETROS DE VUELO	
Peso de Despegue	7.0Kg ~ 15.0Kg
Peso Total	4.4Kg
Poder de Batería	LiPo (6S, 10000mAh ~ 20000mAh, 15C(Min))
Max Consumo de Poder	3000W
Temperatura de Ambiente	-10°C ~ 40°C

LIDAR VLP -16

El VLP-16 tiene un alcance de 100 metros, y el bajo consumo de energía del sensor (8W), peso ligero (830 gramos), tamaño compacto (103mm x 72 mm), y la capacidad de rendimiento de doble retornos hacen ideal para vehículos aéreos no tripulados y otras aplicaciones móviles.

El Velodyne LIDAR Puck posee 16 canales, 300.000 puntos / seg, un campo de vista horizontal de 360° y un campo de vista vertical 360°, con +/- 15 ° hacia arriba y hacia abajo. El Velodyne LIDAR Puck no tiene piezas giratorias visibles, por lo que es altamente resistente en ambientes desafiantes (Calificación IP67).

TABLA 2

Especificaciones técnicas

Sensor	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de mediciones de distancia de vuelo con reflectividades calibrados.• 16 canales• Máximo Rango hasta 100 metros• Precisión: +/- 3 cm. (típico)• Doble de Retornos• Vista de Campo (vertical): 30° (+15° a -15°)• Resolución Angular (horizontal/azimut): 0.1° - 0.4°• Rango de Rotación: 5 – 20 Hz• Server de Web integrado para facilitar el monitoreo y configuración.
Laser	<ul style="list-style-type: none">• Clase 1 – Seguro para los ojos• 905 nm. longitud de onda
Mecánica / Electricidad / Operación	<ul style="list-style-type: none">• Consumo de Poder: 8 W (típico)• Voltaje de Operación: 9 – 32 VDC (con una caja de interface y una

	<p>fuelle de alimentaci3n regulada)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peso: 830 gr. (sin cables) • Dimensiones: 103 mm. diámetro x 72 mm. altura • Vibration: 5 Hz a 2000 Hz, 3G rms • Temperatura de Operaci3n: -10° a +60° C • Temperatura de Almacenamiento: -40° a +105°
Output	<ul style="list-style-type: none"> • Captura de hasta 0.3 millones de puntos por segundo • 100 Mbbs Ethernet conexi3n • UDP paquetes contenido <ul style="list-style-type: none"> - Distancias - Reflectividades calibrados - Sincronizaci3n de marcas de tiempo (µs resolution) • \$GPRMC NMEA sentence from GPS reciver (GPS not included).

3.2.2 Referencia econ3mica LIDAR UAV

TABLA 3

Referencia econ3mica del LIDAR VLP y el Dron DJI Spreading Wings S1000+

S.No. Product Details	Qty	List Price	Total
<p>1. Velodyne puck (VLP-16 Series) LAVLP-16 Unmanned Laser Scanning System customized - LIDAR sensor: Velodyne VLP 16 (Puck) - Navigation System: single-antenna, dual-frequency RTK-GNSS receivers with GPS/GLONASS support - IMU: Sensoror STIM - Dedicated Acquisition Laptop - Systems Software Suite (Explorer, Fuser and LightHouse) - 1-year warranty Training: -Complete system operations Training- Location Los Angeles, CA -To be scheduled after system ingration into aircraft and ready for flight operations -First operation training with data adquisition and processing -software training on Spatial Explorer, Spatial Fuser & Spatial</p>	1	\$96,775.00	\$96,775.00

Light House			
2. DJI S1000+ Gold Package DJIS1000 Gold - DJI S1000 Octocopter - A2 Flight Control -Zunmuse 5D Gimbal - 2.4ghz Bluetooth Data Link for i-pad ground station - DJI IOSD Mark II (FPV) - Futaba 2.4 Ghz 10 Channel remote and receiver - DJI S1000 Pelican Case -E1200 Standard Tuned Propulsion System -Extended Arms for Upgraded Motors -Landing Gear leg Extension(s) -DJI DropSAfe Parachute -Hitec Ultima X2 Dual Port Charger Batteries Not Included DropSafe CO2 gas canister Not Included	1	\$10,329.04	\$10,329.04
3. HD Photogrammetry Sony A7R (Optional) Photogrammetry Sony Sony a7R camera w/20mm prime lens, mounting brackets, GPS sync cable and software Integrated Training is included in LP360 training (Silver Package only)	1	\$6,875.00	\$6,875.00
4. REF-ST for Octo (Optional) OPTIONAL: NovAtel FlexPak Reference Station L1/L2, GPS/GLONASS, Pinwheel Antenna, Tripod and Cables	1	\$12,312.00	\$12,312.00
5. POSTPROS- Post Processing Software (optional) Post Processing Software, for: - GNSS outages are expected during scans (bridges, forest canopy) - communication to Rover via 3G/4G or long-distance wifi is not possible	1	\$18,750.00	\$18,750.00
6. Lp360 Advance LiDAR Processing Software (Optional) LP360 LP360 Advanced Edition (includes Basic and Standard) was released with LP360 v.1.7. The Advanced Edition provides additional Point Cloud Tasks allowing for the classification of LIDAR point clouds automatically as well as the extraction of features to vector GIS data sets based on specific	1	\$6,600.00	\$6,600.00
7. Training for LP360 Software (optional) Training LP360 software operation 5 Days of Software Training LP360 and Orthophoto processing Tool: - LP360 training in LiDAR AMERICA OFFICE. -ORTHOPHOTO Processing will be included if photogrammetry option is acquired (Silver Package only) NOTE: Transportation, Hotel and Meals ARE NOT INCLUDED	1	\$7,500.00	\$7,500.00
Grand Total			\$159,141.04

CONCLUSIONES

El LIDAR aerotransportado es una técnica consolidada muy precisa y con una gran productividad.

Para que el sistema LIDAR puede realizar la batimetría de un sector, este debe poseer la característica de que el ojo humano puede ver el fondo a través del agua; sin embargo debido al movimiento y suspensión de sedimentos, al afloramiento costero, a la abundante concentración de fitoplancton y zooplancton, entre otras características, hacen que el mar peruano posee mucha turbidez en sus aguas, es por eso que se puede concluir que el Sistema LIDAR no puede realizar un levantamiento batimétrico de las costas del litoral peruano.

El LIDAR es muy útil en el cartografiado de costas pues con muy pocas pasadas se puede cubrir toda el área de interés, ya sea en el mar o en tierra. El LIDAR no se ve afectado por los problemas que encuentra la fotogrametría en las zonas de costa. La falta de textura de la arena o la presencia de masas de agua no afectan a la precisión del LIDAR.

El sistema LIDAR permite realizar levantamientos topográficos en corto tiempo y a una alta precisión, teniendo la capacidad de emitir millones de puntos por hora, permitiendo obtener todo tipo de objetos, como son los que se encuentran debajo de la copa de un árbol. Esto no lo puede realizar la fotogrametría, ya que no posee tanta precisión como la del LIDAR.

El sistema LIDAR nos permite obtener una precisión vertical de 30 cm., lo que es necesario para realizar cartas de inundación, sin embargo la fotogrametría no nos permite tal precisión. Por tal motivo es más conveniente utilizar la tecnología LIDAR para realizar las cartas de inundación.

El sistema LIDAR puede realizar un levantamiento de cualquiera zona rápidamente, lo que permitiría que ante cualquier desastre natural se obtenga un análisis de la zona afectada con mayor rapidez a diferencia de la fotogrametría que demora un tiempo mucho mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROLASER (2010) “*Estudio batimétrico, vuelo fotogramétrico y LIDAR del puerto de los cristianos*”. Tenerife.
- Centro de Óptica y Fotónica, Universidad de Concepción “*Observatorio LIDAR – CEFOP*”.
- Dielmo (2013) “*Plataformas UAV*”. *Manuscrito no Publicado*.
- Dirección de Hidrografía y Navegación (2009). “*Normas Técnicas Hidrográficas Nro. 18. Manuscrito no Publicado*”.
- Dirección de Hidrografía y Navegación (2010) “*Normas Técnicas Hidrográficas Nro. 30. Manuscrito no Publicado*”.
- Jiménez, C. (2013). “*Aspectos físicos del maremoto notable de 1746*”. *Manuscrito no publicado*.
- Magdaleno Mas, F. (2006) “*Aplicaciones de la teledetección láser (LIDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial*”. Madrid.
- Montesinos Aranda, S. (2009) “*Capacidades del LIDAR batimétrico Hawk Eye Mk II*”. Cataluña.
- Stereocarto (2013). LIDAR Aéreo. Recuperado el 26 de agosto de 2015, de <http://www.stereocarto.com/es/productos/producto.php?id=11>