

## EXPERIENCIAS DE LEVANTAMIENTOS AEROCARTOGRÁFICOS TRIPULADOS EN CUBA.

### EXPERIENCES OF MANNED AEROCARTOGRAPHIC SURVEYS IN CUBA.

*Juan Carlos Pérez García<sup>1</sup>, Yaimara Yero Cabrales<sup>2</sup>*

*1 GEODESA, Cuba, [jperez26.10.93@gmail.com](mailto:jperez26.10.93@gmail.com), [jperez@geodesa.geocuba.cu](mailto:jperez@geodesa.geocuba.cu)*

*2 GEODESA, Cuba, [yaimarayocabrales@gmail.com](mailto:yaimarayocabrales@gmail.com)*

#### Resumen

El trabajo reseña las experiencias alcanzadas en la realización de levantamientos aerocartográficos tripulados en Cuba. Durante la investigación se recopilaron datos históricos de esta actividad en el país, que incluyen no solo las tecnologías empleadas en su realización, tales como: las cámaras analógicas, las cámaras digitales, hasta llegar al escáner láser aerotransportado (LiDAR); sino también los diferentes modelos de aeronaves en que estas han sido y son emplazadas. El artículo recoge de forma cronológica los antecedentes, evolución y las experiencias alcanzadas en Cuba en la realización de levantamientos aerocartográficos tripulados, resaltando que la realización de dichos levantamientos presenta mucha fuerza y que muchos son también los países -incluyendo el nuestro- que realizan sus investigaciones y proyectos empleando estas tecnologías. La limitación principal que se le pudiera señalar a esta caracterización es que concluye en el año 2022, por lo que es recomendable en el futuro continuar indagando y realizando investigaciones sobre este tema.

**Palabras claves:** Levantamiento aerocartográfico, LiDAR, UltraCam-Lp, Cámaras digitales y analógicas, Aeronave.

#### Abstract

The work reviews the experiences achieved in the realization of manned aerocartographic surveys in Cuba. During the research, historical data of this activity in the country were collected, which include not only the technologies used in its realization, such as: analog cameras, digital cameras, up to the airborne laser scanner (LiDAR); but also the different models of aircraft in which they have been and are located. The article chronologically collects the background, evolution and experiences achieved in Cuba in the realization of manned aerocartographic surveys, highlighting that the realization of these surveys presents a lot of strength and that many are also the countries -including ours- that carry out their research and projects using these technologies. The main limitation that could be pointed out to this characterization is that it concludes in the year 2022, so it is advisable in the future to continue investigating and conducting research on this topic.

**Keywords:** Aerocartographic survey, LiDAR, UltraCam-Lp, Digital and analog cameras, Aircraft.

Recibido :29/03/2023

Aprobado: 15/05/2023

## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo tecnológico que se impone hoy en el mundo está aparejado con el avance del conocimiento científico y la influencia de las experiencias alcanzadas en una determinada actividad a lo largo de los años. Cuba no constituye la excepción de la regla y es por ello que en este trabajo se recopilan datos históricos y actuales de las experiencias que se suscitan a diario en la realización de levantamientos aerocartográficos tripulados.

Los levantamientos aerocartográficos tripulados pudieran definirse como la toma de datos desde una plataforma aérea para obtener información de los elementos del terreno desde un sensor remoto y constituyen la base para la creación de espaciomapas, mapas especiales y temáticos, ortoimágenes, mapas topográficos a diferentes escalas, modelado en 3D, así como modelos tridimensionales del terreno y de los objetos que en él se encuentran.

En los últimos años se han producido grandes avances en la construcción de las cámaras digitales a nivel mundial con una calidad de imágenes y precisión similar a la de las cámaras aéreas tradicionales, las que han sido reemplazadas debido fundamentalmente a las mejoras en calidad geométrica y radiométrica. Entre las cámaras métricas nos encontramos las cámaras del tipo UltraCam-Lp, que por primera vez integra todos los beneficios de un sistema de imagen digital de nueva generación y un flujo de trabajo completamente digital.

En los modernos sistemas LiDAR se sigue trabajando para aumentar su potencial. Los fabricantes de estos sistemas están desarrollando sensores multi-láser con múltiples polarizaciones, por ejemplo, una combinación de láser rojo, verde y azul para simular el RGB de la luz visible. En el caso de Cuba, se cuenta con el modelo RIEGL VQ-780i, el cual constituye el instrumento aerotransportado capaz de diseñar y optimizar el rayo láser, de tal forma, que examine la adquisición de los datos, además de proporcionar la información suficiente para controlar el funcionamiento de cualquier pulso láser. Es exacto, rápido y flexible lo que lo convierte en un sistema versátil de alta eficiencia en la adquisición de datos a bajas, medianas y grandes alturas, con una cobertura variable según la finalidad con que se vaya a utilizar.

El desarrollo de la percepción remota mediante levantamientos aerocartográficos tripulados en nuestro país en la actualidad se encuentra en una fase de perfeccionamiento, debido a la reaparición de este servicio con la adquisición por parte de la empresa GEOCUBA GEODESA de los sensores UltraCam-Lp y LiDAR VQ-780i en 2017 y 2018 respectivamente. Este servicio se vio interrumpido por más de 10 años ya que el último levantamiento realizado con cámara análoga se realizó en el 2007.

El Grupo Empresarial GEOCUBA, en particular la agencia de Fotogrametría perteneciente a la empresa GEOCUBA GEODESA está inmersa en la tarea de llevar a cabo la correcta explotación de estas tecnologías donde un factor fundamental lo juega, el poder conocer las experiencias con las que se cuenta en la realización de estos levantamientos en aras de perfeccionarlas y adaptarlas a los nuevos tiempos.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1 Antecedentes de los levantamientos aéreos tripulados en el mundo y en Cuba.**

En el siglo XIX se inventa la fotografía para la confección de planos topográficos, que ya en 1846 había empezado a emplear perspectivas dibujadas por medio de una cámara clara o cámara lúcida,

la fotografía aérea ha estado presente desde mediados del siglo XIX. Un francés llamado Nadar, cuyo verdadero nombre era Gaspard Félix Tournachon, tomó la primera fotografía aérea. En 1855 patentó la idea de utilizar las fotografías aéreas en la cartografía y la topografía. Sin embargo, hasta 1858 no consiguió tomar la primera fotografía aérea desde un globo con éxito. La fotografía más antigua tomada por Nadar es del Arco de Triunfo en 1868. [1]

La primera cámara aérea práctica especialmente diseñada fue realizada por el capitán John MooreBrabazon con la ayuda de la empresa Thornton-Pickard, mejorando en gran medida la eficiencia de la fotografía aérea (Ver figura 1). La cámara se insertó en el suelo de la aeronave y podría ser activado por el piloto a intervalos. Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, Moore-Brabazon vuelve a volar, uniéndose al Royal Flying Corps. Él sirvió en el frente occidental donde jugó un papel dominante en el desarrollo de la fotografía y el reconocimiento aéreo. [3]



Figura 1. Primera cámara fotográfica aérea.

En 1897, el austríaco T. Scheimpflug comenzó sus importantes trabajos sobre rectificación, técnica que adquiriría gran difusión y, en 1898 sentó las bases de la idea de la proyección doble.

Ya en 1899 S. Finsterwalder propone resolver el problema de la orientación en tres pasos: orientación interior, la orientación relativa y la orientación absoluta. El restituidor analítico creado en la década del 60 por el finlandés Uki Helada trajo una sensible mejora en la precisión y, además, permitió el empleo de cualquier tipo de fotografía o aún de imágenes no fotográficas. Otras ventajas importantes fueron la facilidad con la que se podían corregir errores sistemáticos (distorsión de la lente, variaciones dimensionales de la película y efectos de refracción atmosférica y curvatura terrestre) y el empleo de altas redundancias con un tratamiento que fue resuelto matemáticamente por mínimos cuadrados. Sin embargo, los grandes beneficios de la Fotogrametría Analítica no estuvieron en el restituidor analítico, sino en el cambio en las técnicas de Aerotriangulación.

El motor del cambio en la evolución de la aerotriangulación, en este caso es la computadora. A mediados de la década de los 80, y con el advenimiento de las computadoras personales, los programas de compensación en bloque por mínimos cuadrados adquirieron una importante difusión. El desarrollo de software para la compensación de la Triangulación Aérea marca todo un hito en la historia del diseño y elaboración de técnicas fotogramétricas.

En cuanto al ámbito nacional se poseen referencias que señalan al año 1928 como el momento donde se tomó la primera fotografía aérea desde avión en Cuba con fines cartográficos. [10] Por su parte la percepción remota moderna basada en el láser se inició en la década de 1970 con la NASA (National Aeronautics and Space Administration), trabajando con prototipos aéreos para un

posible despliegue espacial. Estos prototipos se idearon para la medición de las propiedades de la atmósfera y el agua del océano, capas de hielo, copas de los árboles y no para la cartografía topográfica. Las investigaciones científicas de la Universidad de Stuttgart demostraron que el láser contaba con una alta precisión geométrica en la creación de perfiles.

A mediados de 1980, con la instalación e implementación de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), se sumó la utilización de relojes ultra-precisos para la medición del tiempo de retorno del pulso láser y las unidades de medida inercial (Inertial Measurement Units – IMU), lo que facilitó el cálculo de los parámetros de orientación de los sensores láser. La rápida evolución de estos componentes permitió ganar en el aumento de la resolución de los sistemas LiDAR, aprovechándolo en un gran número de aplicaciones.

El sistema LiDAR emplea la tecnología GPS para obtener la precisión X, Y, Z de la posición del sensor en el espacio tridimensional mientras está montado en una plataforma aérea. Para ello utiliza robustas de doble frecuencia y el diferencial de los receptores pos-procesamiento, una estación terrestre de referencia fijo y ½ (preferido) a 1 ciclo de actualización de segundos. El sistema GPS / IMU para el LiDAR se inicializa en el suelo con respecto a la estación base; luego, durante la misión de vuelo, su enganche con los satélites GPS debe ser mantenida y el sistema LiDAR debe permanecer dentro de 50 millas de la estación base de referencia con el fin de mantener la precisión final requerida.

La percepción remota convencional era la encargada generalmente de producir los archivos de datos de alta resolución del terreno y los elementos superficiales cuando los archivos de datos LiDAR fueron presentados. También había productos de baja resolución obtenidos a partir de radar o cámaras espaciales. Se analizaron entonces las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos existentes frente al LiDAR. En conclusión, el LiDAR fue presentado como una herramienta rápida, precisa y directa con la que generar datos tridimensionales, suponiendo una solución para el desarrollo cartográfico muy atractiva. [7]

En nuestro país no se contaba con antecedentes en el uso de la tecnología LiDAR, debido a que no existía esta tecnología en ninguna empresa nacional. No es hasta agosto del 2018 que la Empresa de Soluciones Ambientales y Geodésicas (GEODESA) adquiere el LiDAR modelo RIGEL VQ780i, realizándose por primera vez en este año un levantamiento aerocartográfico con esta tecnología. [5]

## **2.2 Experiencias alcanzadas por Cuba en la realización de levantamientos aerocartográficos tripulados.**

El 29 de mayo de 1919 Agustín Parlá, pionero de la aviación cubana y Johnny Green, propietario de un hidroavión anuncian la apertura de vuelos comerciales entre Cuba y EE.UU. Días más tarde el 29 de julio Parlá invitó al reportero gráfico del periódico El Mundo, Adolfo Roqueñí para retratar por primera vez a La Habana desde el aire. [8]

En Cuba, la toma de fotografías aéreas con fines cartográficos tiene antecedentes históricos en la década de los años 50 del pasado siglo, no obstante, en el informe del ingeniero Francisco de Albear, presentado en la Oncena Reunión anual de Cartografía y Topografía celebrada en Washington D.C. el 19 de junio de 1951, y titulado “Cartografía en Cuba. Narración de lo Antiguo y lo Moderno”, se explicaba que en 1898 ocurrió un levantamiento aéreo en globo en la región oriental de Cuba cuando el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU obtuvo fotografías aéreas para confeccionar el mapa militar necesario para la primera intervención norteamericana en Cuba (1898-1902) [1] (Ver figura 2). Este autor destaca que existen referencias que señalan al año 1928

como el momento donde se tomó la primera fotografía aérea desde avión en Cuba y a la década del 30 como el inicio de una cierta periodicidad en la toma de fotografías aéreas con motivo de la construcción del acueducto de La Habana. [6]



Figura 2. Levantamiento aéreo realizado desde un globo de zonas cercanas a la ciudad de Santiago de Cuba con la misión de realizar observaciones y obtener fotografías aéreas con objetivos táctico-militares.

Ya en la década de los 50 se adquieren los Instrumentos Fotogramétricos Universales (IFU) analógicos como el Wild A-7 y Wild A-8 (Ver figura 3), de la firma Wild. [3]



Figura 3. Instrumentos Fotogramétricos Universales (IFU)

La creación de la primera unidad de aerofotografía denominada Grupo de Levantamiento Aéreo (GLA) que operaba con aviones tipo DC-3 y cámaras de la firma WILD de Herebrut, fue utilizado en la aerofotografía cubana por compañías desde 1957 a 1959. (Ver figura 4)



Figura 4. Aeronave de fabricación estadounidense DC-3.

Específicamente en 1957, el American Geodetic Surveyor realiza un primer vuelo aerofotogramétrico de todo el país a escala de la fotografía 1: 60 000 con la finalidad de la creación por métodos fotogramétricos del mapa topográfico a escala 1: 50 000. Para Cuba significó el inicio de la aerofotografía, la fotointerpretación, la fotogrametría y la creación de redes geodésicas de apoyo para el control fotográfico. En resumen, se inició la producción de aerofotogrametría a escala productiva. También antes de 1959 operaron en Cuba las compañías norteamericanas Abramms Aerial Surveying y la Aero Service Cooperation, cuyos levantamientos aerocartográficos sirvieron de base para confeccionar planos en interés de las compañías petroleras y de algunas empresas azucareras norteamericanas. [6]

La actividad recibió un impulso considerable con posterioridad al triunfo de la Revolución, ya que el Instituto de Cartografía y Catastro estuvo entre las 10 primeras instituciones que creó el Gobierno Revolucionario en 1959 como preámbulo a las necesidades de medición y control de tierras de la futura Reforma Agraria.

En 1979 se crea el Taller de Levantamiento Aéreo, con el empleo de los aviones laboratorios AN 30 (Ver figura 5) de fabricación Soviética. Se amplía considerablemente el uso de las cámaras fotográficas aéreas, introduciendo la línea soviética de las KAFA, con un amplio surtido de lentes que aseguró su empleo a diferentes distancias focales con la consiguiente variedad de resoluciones espaciales y precisiones, dando pie a la realización del segundo vuelo aerofotogramétrico de todo el país.



Figura 5. Aeronave laboratorio de fabricación soviética AN 30.

En 1997 se cumple una tarea de suma importancia histórica y política para Cuba y para el mundo y es la recuperación de los restos del Guerrillero Heroico y los miembros de su guerrilla boliviana donde la aerofotografía y fotointerpretación cubanas hacen su aporte mediante un levantamiento multiespectral sobre las áreas de búsqueda en la pista del aeropuerto viejo de Valle Grande que sirvió de base para este importante proyecto. [3]

Ya en 1999 la actividad de levantamiento aéreo pasa a formar parte de la Agencia de fotogrametría de la Empresa GEOCUBA La Habana. En 2001 se adquiere un escáner fotogramétrico de última generación modelo UltraScan5000 de altos rendimientos para la digitalización de las películas ya sean negativos o positivos y se concluye el último levantamiento fotográfico general de la República de Cuba. Con posterioridad al año 2002 como tal desaparece la infraestructura organizativa y la actividad de fotografía aérea se realiza de manera esporádica y para proyectos muy prioritarios entre los que se pueden citar el vuelo denominado Aguas Habana y una campaña de termografía infrarroja en los cayos al norte de la provincia de Villa Clara. [10]

Desde el 2002 hasta el 2007 se trabajó con imágenes provenientes de la cámara fotogramétrica aérea Wild RC8 con conos intercambiables de fabricación suiza que se muestra en la figura 6. Esta posee tres conos con diferentes formatos y distancia focal, de ellos, existen dos en el país, un cono (lente) con formato de fotografía de 23x23 cm y una distancia focal (f) de 152.32 mm y el otro con formato 18x18 cm y una distancia focal de 114 mm, con el objetivo de dar respuesta a levantamientos fotogramétricos aéreos a distintas escalas. El otro lente que se puede intercambiar tiene un formato de fotografía de 18x18 cm y distancia focal de 210 mm.



Figura 6. Cámara Aérea Wild RC8.

Los aviones de fumigación agrícola del tipo AN-02, adaptados por ingenieros y técnicos cubanos para aerofotografía a grandes escalas desde 1977, con la finalidad de obtener imágenes para la Cartografía. La adaptación original de este avión se ha ido replicando según la sustitución de aviones, y ha estado vigente en la aerofotografía cubana desde 1977 hasta 2007 en la figura 7 se muestra el modelo de avión AN-02 empleado en este periodo. [3]



Figura 7. A la izquierda aparece el modelo de avión AN-2 y a la derecha algunos veteranos de la aerofotografía cubana: Lisette Torriente Martínez, José León Gómez Torres y el Dr.C Eloy Pérez García (fallecido).

En 2007 se realiza un último levantamiento aerocartográfico, en este caso para la empresa Aguas de la Habana y a posteriori la percepción remota se ve estancada, debido a la obsolescencia de las tecnologías y la falta de piezas de repuesto para la aeronave; sin mencionar el mal estado de las tecnologías que se encontraban en ese momento y que sitúan en un primer lugar los sistemas de captura de estas imágenes que dejaban a un lado los tiempos en que este servicio en Cuba –década de los 60 del pasado siglo- fue objeto de referencia en todo el continente americano.

A partir de 2008 comenzó un periodo complejo en la percepción remota en nuestro país debido a que se comenzaron a emplear imágenes de satélite que se adquirían por terceros países por esto y producto al elevado nivel de nubosidad predominante en Cuba se hicieron muy costosas, además se emplearon vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la realización de estos levantamientos con las limitantes que se realizaban con cámaras no métricas y en áreas más pequeñas de la superficie de la tierra dado el pequeño formato de las mismas, donde es necesario un gran volumen de imágenes que encarecen los trabajos de control fotográfico y de restitución fotogramétrica en gabinete.[2] (Ver figura 8)



Figura 8. Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT)

En agosto del 2017 la Empresa de Soluciones Geodésicas y Ambientales, GEODESA adquirió una Cámara Fotogramétrica Digital UltraCam-Lp, de 92 megapíxeles de resolución (Ver figura 9), para ser empleada con el modelo de aeronave AN-02, revitalizándose de esta manera los servicios de levantamiento aerocartográfico tripulado.

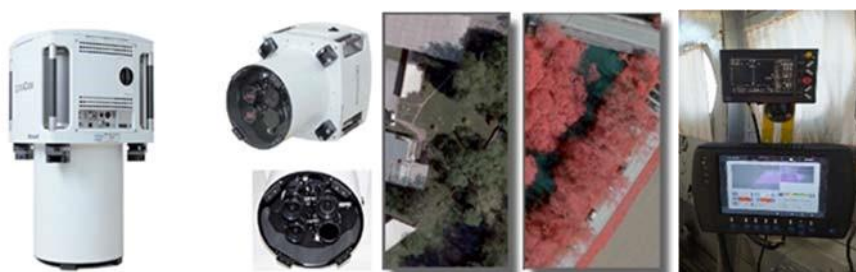


Figura 9. Sistema de cámara UltraCam-Lp. [4]

La empresa GEODESA, con el objetivo de realizar la puesta en marcha y la explotación de las nuevas tecnologías adquiridas, se dio a la tarea de arrendar a la Empresa de Servicios Aeroportuarios



(ENSA) una de sus aeronaves, dando comienzo a los trabajos de acoplamiento de la tecnología a la aeronave AN-02 con matrícula CUC1818. (Ver figura 10)



Figura 10. Modelo de aeronave AN-02 con matrícula CUC-1818 donde se acoplo la tecnología UltraCam –Lp en 2017.

El año 2018 fue cuando se realiza por primera vez en Cuba un levantamiento aerocartográfico con tecnología LiDAR, debido a la aparición de este servicio con la adquisición por parte de la empresa GEOCUBA GEODESA de un sensor LiDAR VQ-780i en 2018. [7] (Ver figura 11)



Figura 11. Sistema LiDAR VQ-780i con cámara DigiCam acoplada. [9]

Este servicio se vio detenido en 2019 debido a que existían dos tecnologías a explotar y una sola aeronave arrendada lo que impedía el uso de ambas al unisono, por lo que se decide realizar trabajos de exportación conjuntamente con la empresa alemana GeoFly en su propio país. Con la reciente incorporación de una nueva aeronave AN-02 matrícula CUC-1890 a principios del año 2022, se reanuda este servicio que estuvo interrumpido por tres años realizándose disimiles proyectos (Ver figura 12). A finales de 2022 se interrumpe nuevamente este servicio y el sensor LiDAR se encuentra arrendado por la empresa alemana GeoFly hasta la fecha de hoy febrero de 2023.



Figura 12. Modelo de aeronave AN-02 con matrícula CUC-1890 donde se acopló la tecnología LiDAR VQ-780i en 2022.

### 3. CONCLUSIONES

En este trabajo se logró plasmar de forma cronológica los antecedentes, su evolución y las experiencias alcanzadas en Cuba en la realización de levantamientos aerocartográficos tripulados. Los resultados de este trabajo se apoyan en estudios previos y de actualidad, demostrando que la realización de dichos levantamientos presenta mucha fuerza y que son muchos los países incluyendo el nuestro- que realizan sus investigaciones y proyectos empleando estas tecnologías.

Es importante señalar que este trabajo posee algunas limitaciones debido a que la experiencia en este tipo de levantamientos en Cuba continua desarrollándose y en el mismo solo se plasman las alcanzadas hasta el año 2022, por lo que es recomendable en el futuro continuar indagando y realizando investigaciones sobre este tema.

En esencia, la importancia de este trabajo radica en dar a conocer lo que se ha logrado en materia de levantamientos aerocartográficos y lo que estos representan como herramienta útil para el desarrollo de disímiles proyectos.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los compañeros que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de este trabajo, en especial al colectivo que labora en la Agencia de Fotogrametría de la Empresa GEOCUBA GEODESA. Este trabajo está dedicado a la memoria del compañero José León Gómez Torres, a quien le teníamos en una alta estima y quien fue pionero en la realización de levantamientos tripulados en nuestro país.

### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Álvarez portal, R (2012). *Apuntes sobre la historia de la cartografía*. GEOCUBA IC-UCT.
- [2] Bibliotecacpa, (2014) *Experiencia en cuba en levantamientos aéreos con aviones no tripulados*. <http://www.bibliotecacpa.org.ar.com>
- [3] Fernández Sarabia, A. (2017). *Metodología para la obtención de datos, mediante el empleo de VANT orientado a la cartografía a escala 1:10 000* [Tesis de maestría, Academia Naval Granma-GEOCUBA IC-UCT].
- [4] Gtb Iberica, (2013). *UC Lp-cámara aérea digital de formato compacto*. [Catálogo de Exposición]. <http://www.gtbi.net>
- [5] Isse Ortiz, M (2022). *Levantamiento aerocartográfico con el empleo de la tecnología LiDAR en la aeronave AN-02*. [Tesis de grado, Academia Naval Granma].
- [6] Pérez García, E (2018) *Desarrollo de la aerofotografía en Cuba*. GEOCUBA IC-UCT.
- [7] Pérez García J (2020), *Determinación de los parámetros idóneos en la realización de levantamientos aerocartográficos para garantizar las precisiones en la creación de ortoimágenes y MDT con tecnologías LiDAR y UltraCam-Lp empleando la aeronave AN-02*, [Tesis de grado, Academia Naval Granma].

- [8] Ramos García J, Dorta Suares M y Gcarraza Duardo A, (2015). *Primera fotografía aérea de Santa Clara*. <http://Verbielara.wordpress.com>
- [9] Riegl corporation, (2019) *lite mapper VQ-780i*. [Catálogo de Exposición]. <http://www.riegl.com>
- [10] Segura Ramos, A (2018). *Procedimiento para la planificación y pre-procesamiento del levantamiento aéreo con cámara digital fotogramétrica UltraCam-Lp*. [Tesis de grado, Academia Naval Granma].