

DIRIGIBLES PARA VIGILANCIA

Luis Rivera*

Alvaro Pinilla**

Resumen

El presente artículo pretende ilustrar sobre las actuales ventajas del uso del dirigible en actividades militares, con especial énfasis en la vigilancia, para su uso potencial en Colombia. Esta alternativa de aeronave debe ser tomada en cuenta para una toma de decisiones acertada en la actual situación de conflicto que vive el país.

Palabras claves

Dirigibles, Vigilancia, Aerodinámica, Transporte, Nuevos Materiales.

1. APLICACION DE DIRIGIBLES EN LA VIGILANCIA

En Colombia, el problema de la vigilancia es de vital importancia dentro del escenario de orden público que se vive actualmente. La vigilancia incluye fronteras (tráfico de armas, contrabando, químicos e insumos para drogas, drogas, grupos armados), tránsito en vías importantes, infraestructura civil de transporte (puentes, carreteras, túneles), líneas de conducción de energía, oleoductos, represas y demás instalaciones que en un momento dado pueden convertirse en objetivos de interés de los grupos armados.

Las condiciones en los lugares donde se desea vigilar permite, en algunos casos, la presencia constante de personal en tierra, ya sea en vehículos o a pie; pero es usual que las dificultades del terreno (vegetación y topografía) y la distancia a vigilar (grandes distancias presentes en oleoductos, fronteras y líneas de energía) únicamente permiten vigilancia aérea.

La vigilancia aérea se hace en la actualidad empleando aviones livianos o helicópteros. Los aviones presentan desventajas para la aplicación de vigilancia, dada su necesidad de mantener

una velocidad mínima de vuelo, no permiten un examen detallado del terreno.

Los helicópteros, a diferencia de los aviones, gracias a sus características de vuelo si permiten una vigilancia juiciosa y detallada, pero incurren en gastos operativos considerables.

Actualmente se presenta al mundo una alternativa renovada en el campo de las aeronaves, se trata del dirigible que, gracias a los recientes y novedosos desarrollos en materiales y tecnología, ha renacido con fuerza en especial en los países desarrollados. Sus aplicaciones cubren amplios campos pero se destaca la vigilancia como un renglón importante donde el dirigible debe ser tenido en cuenta, pues su vuelo estático, su amplio rango de alcance y sus costos operacionales son muy atractivos.

1.1 Características y Aplicaciones de los dirigibles

1.1.1 Características [ref. 1, 2]

Los dirigibles tiene un gran alcance en lo que respecta al rango de y duración de vuelo. Fácilmente puede maniobrar 24 horas continuas de

* Actualmente realiza estudios de Ph.D. en el Departamento de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad de Loughborough del Reino Unido.

** Profesor Titular, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica- Uniandes

vuelo y en casos más favorables hasta 50 horas, en consiguiente la acción de los motores de propulsión para vuelo es reducida, pues su sustentación se fundamenta en el gas de flotación (típicamente helio) contenido en el interior de la membrana.

El rango de velocidad es amplio, desde completamente estático en el aire, hasta velocidades de 140 kph, dependiendo de la forma y tamaño de la aeronave.

La altura de operación varía entre los 1,000 y 2,500 metros de altura, dependiendo básicamente del porcentaje de volumen ocupado por los balones de control.

Los dirigibles presentan un funcionamiento silencioso, usan motores de baja potencia (relativo a su capacidad de carga) ya que estos se ocupan primordialmente del avance y en menor medida de la sustentación (en ganancia de altura). Para el despegue no requieren de infraestructura importante ya que un terreno despejado y un mástil (para anclar la aeronave) es suficiente. Por esta razón el tiempo que dura la introducción de su uso en una región puede ser relativamente corto.

Los costos operativos directos son generalmente bajos. La situación en que se pueden incrementar estos costos es en operaciones de anclaje manual y de movilización del mástil (cuando sea necesario).

1.1.2 Aplicaciones [ref. 1, 2]

Las principales aplicaciones de los dirigibles se dividen en dos grandes grupos: civiles y militares.

Dentro de las aplicaciones civiles se tiene:

- Transporte de pasajeros
- Transporte de carga
- Grúa sustentadora
- Promoción y propaganda
- Porta cámara (video y fotografía)
- Observatorio turístico
- Laboratorio ecológico
- Hospital móvil

Dentro de las aplicaciones militares se encuentran:

- Vigilancia de zonas fronteras
- Adiestramiento de paracaidistas
- Control de áreas de interés
- Búsqueda y rescate
- Guardacostas
- Avistamiento de largo alcance
- Antisubmarinos
- Busca minas

1.2 Dirigibles para vigilancia [REF. 1, 3]

1.2.1 Ventajas para vigilancia [ref. 1, 3]

En este aspecto, de vigilancia y control de zonas de interés se debe a que gracias a su capacidad de vuelo, puede mantener una visión continua durante 24 horas de cubrimiento, con la posibilidad de aterrizar en cualquier momento. Pueden llevar equipos de alta tecnología para vigilancia, de manejo delicado, lo que les permite permanecer a una altura considerable, lejos del alcance de la mayoría de los misiles tierra-aire. También, gracias a su tamaño pueden actuar como grandes antenas, manteniendo permanente comunicación con refuerzos militares en tierra, que serían un complemento perfecto para su actividad. Además pueden permanecer en el mismo lugar por periodos prolongados, con bajo consumo de combustible, con la libertad de movilizarse sigilosamente cuando sea necesario. Un problema aparente es su vulnerabilidad por el tamaño.

También puede llevar radares (que son actualmente llevados en aviones) directamente dentro de la membrana. El tamaño del radar no sería una limitante, gracias a las dimensiones del dirigible.

Los equipos electrónicos de vigilancia que llevaría pueden ser mucho más sofisticados, gracias a que se les puede otorgar un entorno de trabajo sin vibraciones fuertes y con nula interferencia electromagnética durante un periodo considerable de tiempo.

1.2.2 Materiales [ref. 1, 3]

La evolución y desarrollo en materiales ha permitido avances en los dirigibles que hace 10 años eran impensables.

1.2.2.1 Membrana

El avance de los laminados ha sido importante y reciente. Cumple las principales características que se exigen del material de la membrana para un dirigible cualquiera:

- Alta resistencia. De la resistencia del material va a depender el máximo tamaño posible del dirigible.
- Resistencia a la intemperie, principalmente a la degradación por rayos Ultravioleta (UV). Esto dará una larga vida útil a la membrana, disminuyendo los costos por mantenimiento.
- Alta resistencia a las rasgaduras, siendo tolerante a golpes, perforaciones por impacto de bala y misiles.
- Baja permeabilidad al helio, para minimizar las pérdidas de gas, lo cual tiene efecto inmediato en los costos operativos.

Un material laminado típico consta de tres capas principales, a saber:

Capa de carga y esfuerzo. El material preferido para esta capa es el Poliéster en fibras, conocido como Dacrón® (Du Pont). También puede usarse Poliamidas como el Nylon® (Du Pont) y fibras de Aramidas como el Kevlar® (Du Pont).

Capa de retención del gas. El material preferido es el Poliéster en película conocido como Mylar® (Du Pont). Otro material de bastante aceptación es el Poliuretano, que cuenta con la ventaja de tener adecuada resistencia a la intemperie.

Capa de protección ambiental. El material usado es el fluoruro de polivinilo (PVF) conocido como Tedlar® (Du Pont), es liviano, comparado con el Poliuretano ó el Neopreno.

El adhesivo usado es Hytrel® (Du Pont), Polyeter Elastómero. La experiencia de los constructores de dirigibles lo confirma como la mejor alternativa para las uniones. Cabe resaltar que no existe un método para la detección de fallas y fugas en las uniones, previo al funcionamiento de la máquina, por lo cual la manufactura debe realizarse con calidad optima.

El dirigible comercial británico (Airship Technology) AT-04 usa un laminado similar, con base en polietileno de alta densidad, llamado Spectralamine® (Allied Signal) y recientemente patentado. Tiene una alta resistencia a las rasgaduras y a radiación ultravioleta, siendo ideal para los dirigibles. Este material presenta pérdidas de helio por permeabilidad de tan solo un 7% del volumen total de helio durante un año. Esta membrana es casi inmune a perforaciones. Una bala de un arma de alta velocidad traspasa la envoltura, pero la acción autosellante del material en conjunto con la baja presión de helio que se maneja en el interior, se traduce en la posibilidad de continuar el vuelo durante unas horas luego de recibir numerosos impactos, lo cual permitiría desplazamiento hasta la base aérea más cercana para su reparación.

1.2.2.2 Góndola [ref. 3, 4]

La góndola también se fabrica de materiales de última generación, que incluso son utilizados en los blindajes como el Kevlar® (Du Pont) y matrices de celda de panal en Nomex (de Dupont); así como marcos estructurales de titanio, para disminuir peso.

En el dirigible AT-04 se usa Kevlar en la parte donde se localizan los motores de propulsión. La góndola es fabricada de cristal unidireccional en la parte de arriba de una matriz de Nomex en colmena.

1.2.3 Dirigibles en el mercado [ref. 4]

El mercado mundial de dirigibles cubre transporte de pasajeros donde se destaca el AT-04 británico, pero la oferta para vigilancia exclusivamente presenta alternativas muy atractivas, como es el caso del dirigible ruso PD-160 Patrol Airship.

Este dirigible esta diseñado para vuelos de largo alcance de vigilancia. Esta aeronave es un dirigible semirígido, con dos correas catenaria internas conectadas por cables a la estructura rígida que sostiene la góndola y contiene bolsas de aire para su control de vuelo. Su membrana está hecha de poliuretano recubierto con Nylon,

y con una capa de protección contra los rayos UV. Su carga paga es de media tonelada.

El PD-160 está equipado con sistemas de radionavegación certificados que permiten operación en condiciones climáticas adversas y vuelos nocturnos. El equipo especial incluye cámaras de fotografía y video con sistemas de transmisión de datos, góndola con piso y paredes de Kevlar, reforzadas para protección de la tripulación. Una característica interesante es que permite dejar boyas aerostáticas para indicar posiciones de interés a grupos de soporte en tierra. La operación del dirigible PD-160 consiste en un piloto calificado y tripulación en tierra entre 4 y 6 personas encargadas (de acuerdo a su calificación y a las condiciones climáticas) y su costo de adquisición bordea los US\$ 900,000.

Para dirigibles de mayor tamaño, como el AT-04, se puede alcanzar una capacidad de carga paga de 7 toneladas, con la tecnología ya descrita en numerales anteriores, por un costo de adquisición de 5.5 millones de dólares.

Para justificar económicamente la viabilidad de los dirigibles frente a los helicópteros debe hacerse un análisis que involucre costo de adquisición, costos de infraestructura inicial, costos operativos directos e indirectos y hacer la proyección del servicio prestado en un horizonte de análisis a varios años. Cada una de las alternativas tendrá viabilidad económica de operación definida y el dirigible puede ser el más atractivo bajo ciertas condiciones de distancia, horas de operación, capacidad de carga, etc. indispensables en labores de vigilancia.

1.2.3.1 El caso de Puerto Rico [ref. 5]

Recientemente el Departamento de Policía de Puerto Rico adquirió un dirigible del tipo blimp (sin estructura alguna) de 60 metros (200 pies) de largo, para aplicaciones de patrulla de vigilancia. El dirigible puede desplazarse a una altura de 2100 metros (7000 pies) durante 24 horas continuas de operación y está equipado con un bote para rescates sobre el agua. Este es un claro ejemplo de la vigencia de los dirigibles en aplicaciones de vigilancia, y muestra como

tras un proceso juicioso de selección entre varias alternativas, el dirigible puede llegar la más atractiva.

1.3 Comparación de costos con otros medios de transporte

Para validar el atractivo del dirigible frente a otras tecnologías se debe realizar una comparación que cuantifique de manera económica los beneficios de su selección.

El siguiente es un ejemplo que pretende ilustrar las ventajas financieras del dirigible en su operación y adquisición, haciendo un análisis comparativo con otras alternativas de transporte (en especial con el helicóptero). El punto central del ejemplo es el cálculo del costo por hora de vuelo por persona de cada una de los vehículos comparados. El resultado del análisis es aplicable para vigilancia, adiestramiento de paracaidistas entre otras aplicaciones militares.

La base de la comparación son algunos datos globales de costos de inversión y operación. La herramienta es la teoría económica de Costos Medios de Largo Plazo, usada ampliamente en la determinación de la tarifa de un servicio público (agua potable, alcantarillado, energía, basuras). En un estudio anterior se usó una teoría similar de comparación de tecnologías de transporte (Ref. [2]). Con el enfoque actual se logra involucrar los efectos de cada uno de los componentes tanto por su costo de inversión como por su operación.

1.3.1 Costo Medio de Largo Plazo CMLP

La siguiente es una primera aproximación a una comparación financiera del dirigible frente al helicóptero. Un análisis más profundo sería aconsejable.

El Costo Medio de Largo Plazo está conformado por dos tipos de costos medios principales: los de inversión y los de operación.

$$CMLP = CMI + CMO$$

El costo medio de inversión incluye la inversión actual existente y las inversiones en el futuro realizadas para expansión y reposición de los activos que van a cubrir la demanda del ser-

vicio (en este caso horas de vuelo de carga paga) en el periodo de estudio, establecido en 20 años para el presente caso. Un listado de las inversiones y reposiciones necesarias se hace sobre la base de la demanda año tras año, definiendo el Costo Medio de Inversión así:

$$CMI = \frac{\sum_{i=0}^{20} \left(\frac{IE_i + IR_i}{(1+r)^i} \right) - \frac{VR}{(1+r)^{20}}}{\sum_{i=0}^{20} \left(\frac{H_i}{(1+r)^i} \right)}$$

- CMI Costo medio de inversión.
- r Costo de oportunidad del capital.
- IE Inversiones por expansión de capacidad en el año i.
- IR Inversiones por reposición de activos existentes a vida útil en el año i.
- VR Valor residual de las inversiones por expansión y reposición al final del periodo de análisis.
- H Horas de vuelo por kilogramo de carga paga en el año i, que pueden ser proyectadas con una tasa de crecimiento anual o puntualmente cada año.

Este costo debe ser calculado para cada tecnología en comparación. Los costos en el año cero incluyen la infraestructura existente o la necesaria para iniciar la operación de la tecnología de transporte en estudio.

El Costo Medio de Operación se define así:

$$CMO = \frac{\sum_{i=0}^{20} \left(\frac{COV_i + COF_i}{(1+r)^i} \right)}{\sum_{i=0}^{20} \left(\frac{H_i}{(1+r)^i} \right)}$$

- CMO Costo Medio de Operación.
- COV Costo derivado por la operación en el año i, proporcional al número de horas de vuelo en ese año, incluye mantenimiento, repuestos, personal, combustible.
- COF Costo fijo de operación en el año i, que no depende del número de horas de vuelo, incluye administración principalmente.

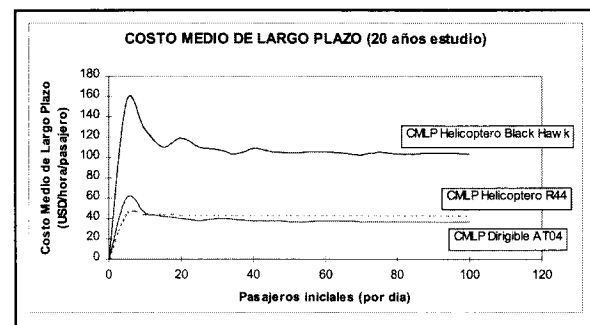
El caso hipotético es el entrenamiento de un rango de 0 a 100 paracaidistas iniciales, con una tasa de crecimiento del número de alumnos de 10%.

Para la comparación se toman varios niveles de demanda del servicio, es decir varios valores de horas de vuelo/kg carga paga al año. En la siguiente tabla se resumen los datos para el helicóptero Blackhawk [ref. 7 y 8], helicóptero R44 Robinson [ref. 6] y el dirigible AT-04 [ref. 2]. En la siguiente tabla se dan los datos básicos para la comparación:

	Dirigible AT04	R44	Black hawk
Carga paga ton	7.0	0.5	4.4
Capacidad pasajeros	56	4	35
Horas operación día	8	8	8
Días operación año	330	330	330
Vida útil años	7	7	7
Crecimiento anual demanda	10%	10%	10%
Costo infraestructura (*)	750,000	20,000	20,000
Costo adquisición USD	5,000,000	500,000	12,800,000
Costo operativo directo USD/hora	1,462	121	2,200
Costo oportunidad dinero	10%	10%	10%

*El costo por infraestructura incluye camión mástil para el dirigible junto con el terreno. Para el helicóptero sólo se incluye el costo del terreno.

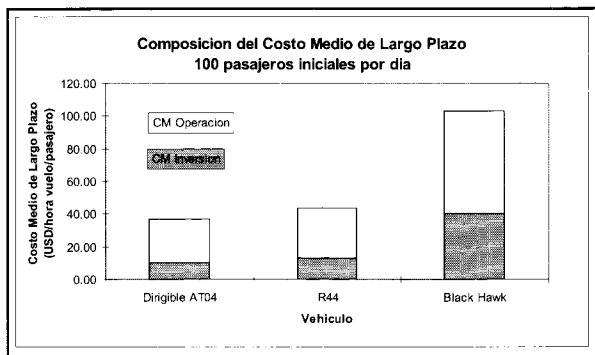
Con estos datos, se realizó las siguiente gráfica, donde se muestra el costo medio de inversión y el costo medio de largo plazo que incluye el costo medio de operación y el de inversión.



Se destaca el Black Hawk como el medio más costoso para transportar un pasajero durante una hora (US\$/hora/pasajero). Se nota también que para bajos números de pasajeros iniciales, es más barato el helicóptero R44 que el dirigible. Para mayor nivel de uso, hacia los 40 pasajeros, el dirigible es más atractivo.

El comportamiento de los costos de inversión es interesante, aunque el dirigible tiene un alto costo medio de inversión (infraestructura, equipo, reposiciones y expansiones de capacidad), es la alternativa más atractiva debido a su bajo

costo medio de operación. En contraste está el Black Hawk, tiene costos medios de inversión y operación altos, que lo hacen poco atractivo. Esto se ve en la siguiente gráfica (con nivel de 100 pasajeros iniciales por día):



En el anterior gráfico se ve la importancia de los costos operativos dentro de la estructura del total. Es necesario un breve análisis adicional de los costos operativos del dirigible.

1.1.1 Comentarios acerca de los costos operativos [ref. 1, 3]

Los bajos costos en operación hacen al dirigible atractivo para vigilancia y otras aplicaciones militares. El dirigible actualmente emplea motores diesel, cuyo combustible es mucho más económico que la gasolina especial para aviación. Un helicóptero, usa máximo poder para su sustentación y por tanto gasta una gran cantidad de combustible. El dirigible, dado que emplea el helio para sustentación, hace que su demanda de combustible sea comparativamente menor para mantener una posición estática. La diferencia en los consumos de combustible hace que el dirigible emplee aproximadamente una décima parte de lo empleado en el helicóptero y permite con el mismo dinero mucho más tiempo de vigilancia.

Pueden planearse ciclos de cuatro días de vigilancia, con todas las comodidades necesarias para la tripulación.

Los principales costos en la operación de un dirigible son:

- Insumos (combustible y aceite) son costos directos proporcionales a las horas de operación.

El helio depende del volumen de reposición necesario al año, independientemente del nivel de uso de la aeronave.

- Mantenimiento, muy similar al de una pequeña avioneta.
- Partes y repuestos, la mayoría de los repuestos van de acuerdo a la programación del mantenimiento preventivo, según las horas de vuelo. La membrana puede necesitar un cuidado un poco más riguroso, según el trato y el manejo.
- Seguros y depreciación, además de los costos administrativos y otros sujetos a la estructura financiera.
- Costos varios como el manejo en tierra (personal adicional), sitio de hangar, y deterioro de la envoltura, que tiene una vida útil determinada y debe ser reemplazada. Puede llegar a representar entre el 10 y el 20 % del costo total de la aeronave.

2 REFERENCIAS

1. KHOURY G. A. GILLET J. D. Airship Technology. Cambridge University Press. United Kingdom: 1999.
2. RIVERA, Luis Alonso. Evaluación Técnica del Uso de Dirigibles en Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá: 1999.
3. WITHWORTH, Ben. High-tech floats in an old guise. Special report: materials.
4. RUSSIAN AERONAUTICAL SYSTEMS. PD-160 Patrol Airship. <http://www.augur.com2/com.ru>
5. airship-list@lists.colorado.edu
6. ROBINSON Helicopter Company. R44 Estimated Operating Costs
7. www.rotorhead.org/uh60.htm. Sikorsky UH-60 Black Hawk
8. www.puertorico-herald.org. BELL, Maya. The Orlando Sentinel, 5 enero 2000.

Mayor información del estudio completo se encuentra en: <http://mecnica.uniandes.edu.co/~apinilla> ver Tesis en Línea.