



AEVYCA

LOS AVIONES FURTIVOS

VERSUS

LOS NUEVOS SENSORES

Comodoro Mayor (R) Eduardo Daniel MATEO

2021



AEVYCA

Agradecimientos

A mi hija María Paz

A mi esposa Sandra.

Al Com. (R) Miguel Ángel SILVA

Al S. M. (R) Javier GONZALEZ

Al Ing. Ezequiel Pawelko

A la Dra. Nadia Barreiro



AEVYCA

RESUMEN

Debido a la aparición del RADAR, los aviones fueron modificando sus características junto con la tecnificación de la Defensa aérea. El avance de los misiles Tierra-aire y Aire-tierra complicaron más la supervivencia. Como consecuencia la Guerra Electrónica despliega sus técnicas en todo el Instrumento Militar y en especial en los aviones convirtiéndolos en Furtivos.

Para lograr detectar este tipo avión, los radares cambiaron y aparecieron sensores Pasivos, Transhorizonte y Cuánticos. Pero los fabricantes de aviones de los distintos países, siguen aplicando innovaciones para mantener la supervivencia del avión.

SUMMARY

Due to the appearance of RADAR, the aircraft were modifying their characteristics along with the technicalization of air defense. The advance of the Surface-to-air and Air-to-surface missiles further complicated survival. As a result, Electronic Warfare deploys its techniques throughout the Military Instrument and especially in the aircraft, turning them into Stealths.

To detect this type of aircraft, the radars changed and passive, trans-horizont and quantum sensors appeared. But aircraft manufacturers in different countries continue to apply innovations to maintain the survival of the aircraft.

Palabras claves:

RADAR, FURTIVO, PASIVO, CUÁNTICO y TRANSHORIZONTE

RADAR, STEALTH, PASSIVE, QUANTUM and TRANSHORIZONT



AEVYCA

INTRODUCCIÓN

Para entender el título de este artículo hacemos un salto histórico a la Segunda Guerra Mundial, en particular al empleo del bombardeo Aéreo y su contraparte el nuevo ingenio llamado RADAR¹. El ejemplo de la Batalla Aérea de Inglaterra, nos mostró la ventaja de contar con una herramienta que detectaba el movimiento aéreo enemigo. Posteriormente los enfrentamientos en Korea, Vietnam, Medio Oriente, entre otros, hicieron que se fueran perfeccionando Aviones y Radares; así llegamos a la Guerra de Malvinas² donde los pilotos argentinos volaban al ras del agua para evitar los lóbulos radar y retrasar la reacción de la defensa antiaérea de los buques ingleses.

Las grandes potencias iniciaron estudios para que las aeronaves no fueran derribadas. Como consecuencia se desarrollan aeronaves para no ser detectadas; esto se logró disminuyendo su reflexión y así es como nace el término de aviones sigilosos o FURTIVOS. Durante la Guerra Fría y dado su secreto, no se difundían las características de estos aviones y se dudaba de su eficacia hasta que la mostraron en las Guerras del Golfo.

En la búsqueda de detectar aviones Stealth, se fabricaron diferentes sensores. China desarrolla radares pasivos, prototipos cuánticos y trans-horizonte. Rusia avanzó en baja frecuencia con diferentes antenas, y Estados Unidos desarrolla sensores con los mismos principios. Europa también avanzó en este tipo de sensores, como se pudo apreciar en abril de 2018 durante un espectáculo aéreo en Berlín, que detectó el vuelo de un F-35 de la USAF³.

¹Parker Sanfuentes, J. “Historia del radar” *Revista de Marina*.2000 Disponible en www.revistamarina.cl/revistas/2000/1/jparkers.pdf [10/07/21]

²Silva, Miguel. “Diario de guerra del radar Malvinas”. *Radar Malvinas*. (2006). Disponible en: www.radarmalvinas.com.ar/radar_malvinas.html [10/07/21]

³Lagneau, L. “El sigilo del F-35ª habría sido dañado por un radar pasivo desarrollado por el grupo alemán Hensoldt”. *Galaxia Militar*. (2019). Disponible en: www.galaxiamilitar.es/el-sigilo-del-f-35a-habria-sido-danado-por-un-radar-pasivo-desarrollado-por-el-grupo-aleman-hensoldt/ [10/07/21]



AEVYCA

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

AVIONES FURTIVOS

En “The Radar Game”⁴ la Dra. Rebecca Grantse refiere a los sistemas de armas aéreos desde la I Guerra Mundial, pasando por la II Guerra Mundial, Vietnam, la Guerra Árabe-Israelí y finalmente la Guerra del Golfo con el objeto de “Comprender la furtividad y la supervivencia del avión”. La aparición en los años 30 del radar, permitió detectar la presencia de los aviones incursores. A través de los años, la aviación militar para cumplir sus misiones debió analizar logística, propagación radar, peligrosidad de la Defensa Aérea, y desarrollar tácticas y/o técnicas:

- ATTRITION es el desgaste que tiene una Fuerza, relacionando cantidad de salidas en un período de tiempo y la probabilidad de derribo, donde se analiza el riesgo de quedarse sin medios aéreos.
- RCS (Radar Cross Section) La “sección transversal de radar” es la característica física que tiene un avión para reflejar la onda radar.
- Sistemas de Misiles y Radares de Tiro modifican el equilibrio a favor de la Defensa Aérea.
- Tácticas para evitar ser detectados.
- Técnicas de engaño a través de Guerra Electrónica⁵.

Reducir la RCS del avión es muy efectivo para retardar el tiempo de reacción de la Defensa Aérea. Esto resume el concepto de FURTIVIDAD, STEALTH o SIGILOSO.

Algunos aviones Furtivos de EEUU, en la imagen siguiente nos muestran sus figuras geométricas y superficies preparadas que logran dispersar las ondas de radar para disminuir la reflexión radar.

B-2,

F-22



CHECKMATE⁶

El nuevo avión ruso de Sukhoi, monomotor de quinta generación con inteligencia artificial (IA), materiales compuestos, sistemas de detección activa, pasiva y cooperativa. También será desarrollado como aeronave no tripulada, llevará armamento ruso y occidental inclusive dentro

⁴ Grant, Rebecca. The Radar Game. Prensa del Instituto Mitchell, 2010

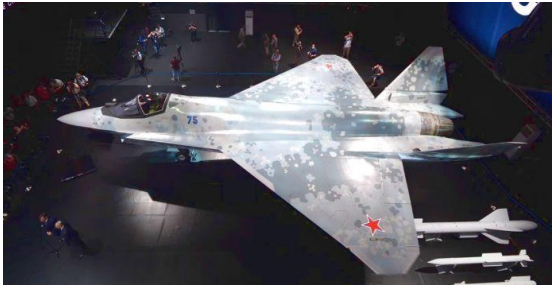
⁵ Silva, Miguel Angel. Clasificación de la Guerra Electrónica. Editorial ESGA (Argentina) 1982.

⁶ Dubois, G. “Presentación oficial del Checkmate, el nuevo avión de combate ruso de 5ta generación” *Aviacionline*. Publicado 20/07/21. Disponible en: www.aviacionline.com/2021/07/presentacion-oficial-del-checkmate-el-nuevo-avion-de-combate-ruso-de-5-generacion/ [3/8/2114:40]



AEVYCA

del fuselaje. Compartirá, controlará y gestionará toda información con aviones dentro de su alcance.



XIAN H-20⁷

China está desarrollando el Xian H-20 que será el nuevo bombardero subsónico furtivo. Su rango estimado será de 8.000 km, contendrá 4 misiles crucero hipersónicos, armamento convencional y nuclear.



B-21 RAIDER⁸

EEUU con la experiencia del B-2, F-22 y F-35 desarrolla un bombardero supersónico polivalente (bombardero táctico y estratégico, reconocimiento e inteligencia) de gran radio de acción (LRS-B Long Range Strike Bomber) denominado B-21. Aplicará el NetworkedSensor-shoot⁹, que es coordinar el mando y control integrado con la información de aviones cercanos.



RADAR PASIVO

⁷ Pastor, Javier. “China prepara su Xian H-20, un bombarero furtivo que completará la tríada nuclear junto a sus submarinos y misiles”. *Xataka*. Publicado 4/05/20. Disponible en: www.xataka.com/vehiculos/china-prepara-su-xian-h-20-bombardero-furtivo-que-completara-triada-nuclear-a-sus-submarinos-misiles [3/8/21 15:20]

⁸ Secretary of the Air Force Public Affairs. “Air Force releases new B-21 Raider artist rendering“ *U.S Air Force* Publicado 6/06/21. Disponible en: www.af.mil/News/Article-Display/Article/2683003/air-force-releases-new-b-21-raider-artist-rendering/ [03/8/21 15:00]

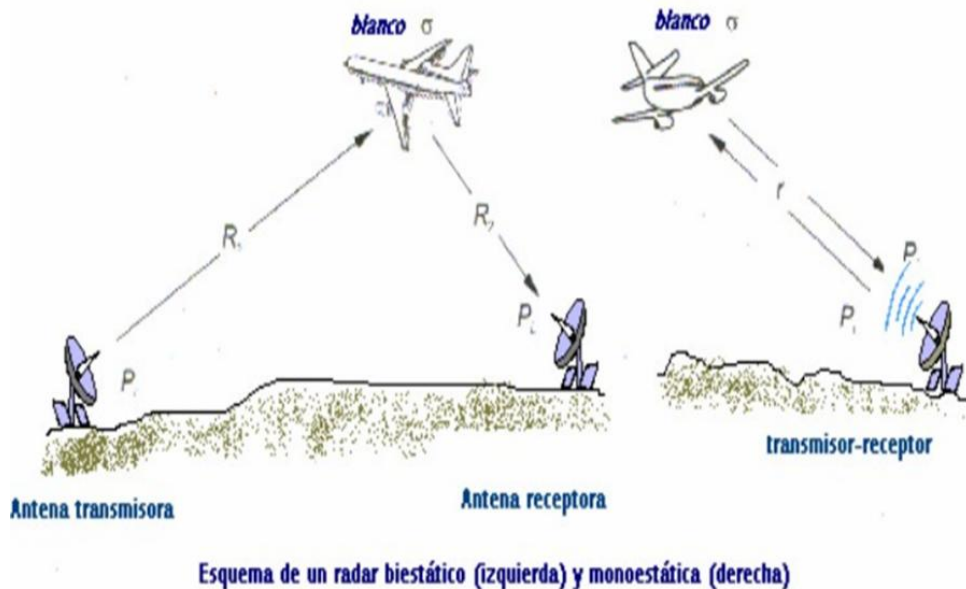
⁹ Silva, M. A. (2019). “El sistema de información”. Disponible en: www.radarmalvinas.com.ar/ng/ng_sinfo_t.pdf [03/08/21]



AEVYCA

En 1935 Robert Watson-Watt detectó un bombardero a una distancia de 12 km utilizando la señal onda corta de la BBC de Londres. Usó dos antenas fijas, una transmisora y otra receptora en distintos lugares geográficos, dada la naturaleza de la separación de las antenas se les llamaba BIESTÁTICOS¹⁰.

Con la invención del conmutado de transmisión a recepción (celda T/R) se desarrolla la tecnología para usar una sola antena en el mismo lugar geográfico, se clasificó radar MONOESTÁTICO.



El Radar PASIVO no es nuevo, estos han sido “redescubiertos” tres veces. La primera reaparición fue en los años 50 con los misiles semiactivos y los radares de seguimiento de a bordo; la segunda veinte años después como respuesta a misiles anti radiación, y la Tercera en los 90 utilizando las reflexiones de transmisiones existentes de telefonía móvil, de difusión FM y televisión.

Funcionamiento¹¹

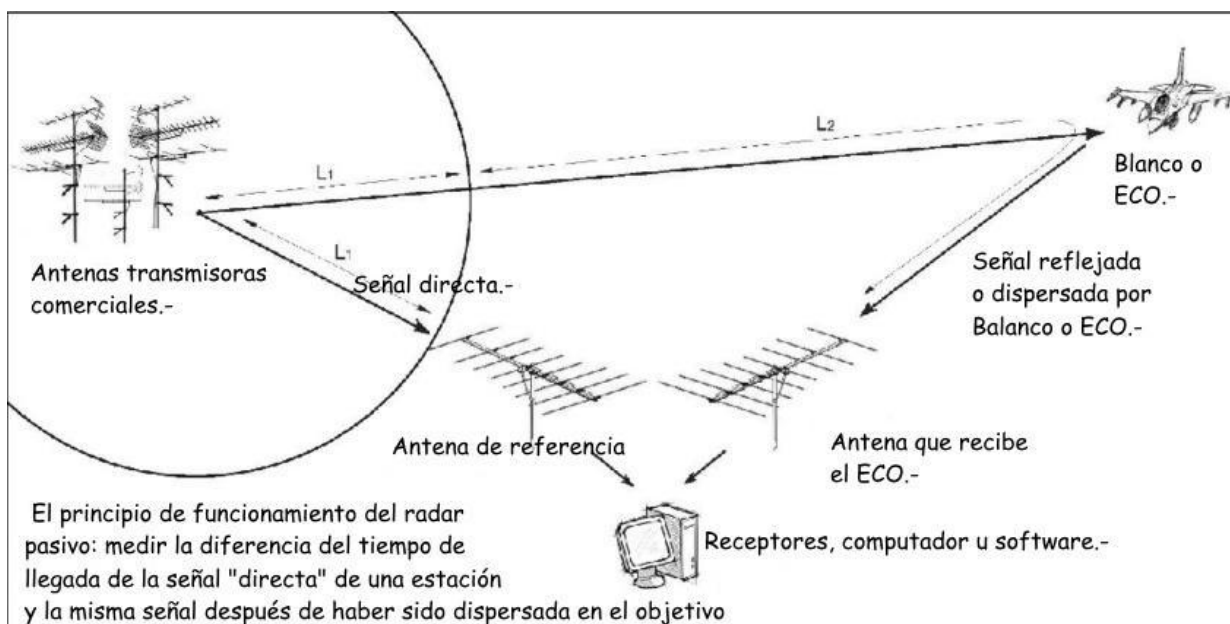
El radar pasivo no emite ninguna radiación propia, sino que analiza las reflexiones de las señales de otros emisores desde los 88 a 1575 MHz (radio, televisión, telefonía móvil, etc.). Estos sistemas reciben la señal directa del transmisor o transmisores y las señales reflejadas. Determinan las direcciones de llegada de las señales; en el canal de referencia filtran y cancelan cualquier señal indeseada; calcula distancia y frecuencia doppler respecto de la transmisión directa; creatrackeo, informa distancia y frecuencia doppler del blanco; juntan los tracks de cada transmisor encontrado y forman el esquema final localizando objetos y su velocidad.

¹⁰ Miguel A., SILVA. “Los sensores de señal” *El sistema de información*. Universidad de la Defensa Nacional, 2019 Página 333

¹¹ PEREZ, J. “Prueba de concepto de radar pasivo multiestático para aplicaciones aeronáuticas” *Universidad Politécnica de Valencia*(23/11/15) Disponible: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/62838/MARCO%20-%20Desarrollo%20de%20umbrales%20adaptativos%20CFAR%20y%20de%20mapas%20de%20clutter%20para%20Radares%20aeron%E1uticos.pdf?sequence=3> [20/07/21]



AEVYCA



Esquema de funcionamiento de las señales pasivas

PCL: Localización Coherente Pasiva¹²

Aprovechando el alto rendimiento de la tecnología informática COTS, el Procesamiento Adaptativo de Espacio-Tiempo (STAP), el Indicador Digital de Objetivo Móvil (DMTI) o Doppler de pulso digital y la introducción de los servicios de difusión digital en los últimos años, con el uso de nuevas formas de onda, presenta una oportunidad de mejora de la precisión de la localización pasiva coherente. Permitiendo el seguimiento en tiempo real de blancos aéreos y el procesado digital de los sensores. Los primeros sistemas empleaban antenas Yagui (para TV). Las nuevas antenas utilizan diferentes arreglos y las fases de la señal para mejorar la ganancia y aumentar la sensibilidad. A continuación, podrán observar algunos ejemplos de radares pasivos:

SILENT SENTRY®¹³ y TWINVIS®¹⁴



¹² "PCL: Localización coherente pasiva". *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa* (2004). Boletín N°3. Disponible en: www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/180/BoletinN3.pdf [15/07/21]

¹³ Lockheed Martin Corp. *Innovative Technology for Passive, Persistent Surveillance*. (2005) Disponible en: www.mobileradar.org/Documents/Silent_Sentry.pdf [15/07/21]

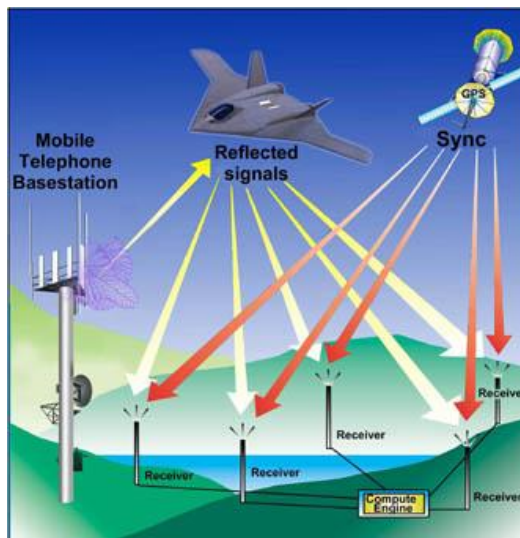
¹⁴ Hensoldt. *Twinvis Passive Radar for ATC*. Disponible en: www.hensoldt.net/products/radar-iff-and-datalink/twinvis-passive-radar-for-atc/ [15/07/21]



AEVYCA

USA desarrolló SILENT SENTRY, analiza señales de TV y radios FM hasta 150MHz para seguimiento de hasta 100 blancos simultáneos (misiles, aviones y blancos de superficie). Alemania desarrolló TWINVIS logrando detectar hasta 200 aviones en un radio de 250 km. Permite conectar varios en red para monitorear áreas aún más grandes.

CELLDAR¹⁵ y FRONTERA¹⁶



Inglaterra desarrolló CELLDAR (Cellular Phone Radar), trabaja con reflexiones de la telefonía móvil, a partir de tres estaciones base con antenas phased array. Rusia desarrolló FRONTERA usando la señal reflejada de los blancos con antenas sensibles de telefonía móvil. Sincroniza las posiciones de emisoras y calcula el ángulo de arribo de la onda reflejada en el blanco para determinar su posición.

VERA-NG¹⁷ y DWL-002¹⁸



La República Checa desarrolló Vera-NG que trabaja desde los 50 MHz a los 18 GHz, con un rango de 450 km, puede seguir hasta 200 objetivos simultáneos. En la década del 90 trabajó en

¹⁵RANDERSON, J. "Cellphone 'radar' tracks traffic flow" *Newscientist.com* (27/10/03) Disponible en: <https://www.newscientist.com/article/dn4299-cellphone-radar-tracks-traffic-flow/> [16/07/21]

¹⁶Damantsev, E. "El RLC del decímetro de Rubezh es una base de información para el RTV, la guerra electrónica y la defensa aérea contra los ataques masivos de misiles". *Top War*. (12/09/16) Disponible en: es.topwar.ru/100497-decimetroyy-rlk-rubezh-informacionnaya-osnova-dlya-rtv-reb-i-pvo-ot-massirovannyh-udarov-skr.html [17/07/21]

¹⁷ERA VERA-NG. Disponible en: www.era.aero/en/military-security/vera-ng [18/07/21]

¹⁸The SC "DWL-002 Passive Detection Radar System Able to Detect Stealth Aircrafts". *PakistanDefence*. (1/06/17) Disponible en: www.defence.pk/pdf/threads/dwl-002-passive-detection-radar-system-able-to-detect-stealth-aircrafts.470060



AEVYCA

conjunto con China que a posteriori desarrolló el radar pasivo DWL-002 para localizar y rastrear objetivos hasta 500 km.

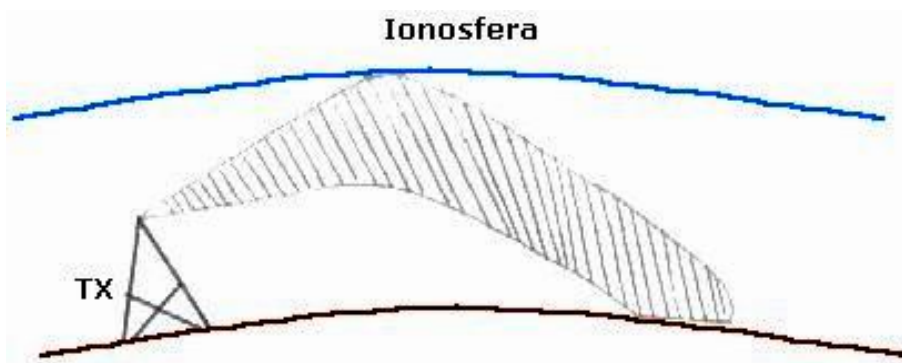
RADAR TRANSHORIZONTE

El 30 de abril de 1904, Christian Huelsmeyer en Alemania, solicitó una patente para el ELEMOSCOPIO¹⁹ que era un sistema transmisor-receptor para detectar objetos metálicos por medio de ondas eléctricas que operó en una longitud de onda de 40-50 cm. Era un dispositivo con dos antenas que servía como sistema anticolidión entre barcos que logró funcionar correctamente.

Este tipo de radares fue diseñado para captar blancos aéreos lo más lejos posible, por debajo del plano de horizonte radar, aprovechando las características de propagación de la energía electromagnética en frecuencias bajas, las que hacen que el haz se curve tendiendo a seguir la curvatura de la tierra.

Propagación celeste o Ionosférica

Consiste en hacer reflejar la onda electromagnética en las capas de la ionosfera, la onda sufre varios efectos de refracción hasta que la reflexión es total y permite que la onda vuelva a la tierra, como se muestra en la imagen siguiente:



En la ionosfera existen varias capas y la temperatura solar influye en la ionización, por lo que se debe tener en cuenta la hora del día en la que se realiza la propagación. Durante la noche las capas ionosféricas pierden densidad y se elevan, motivo por el cual en la noche tendremos un mayor alcance a igualdad de potencia y frecuencia que durante el día.

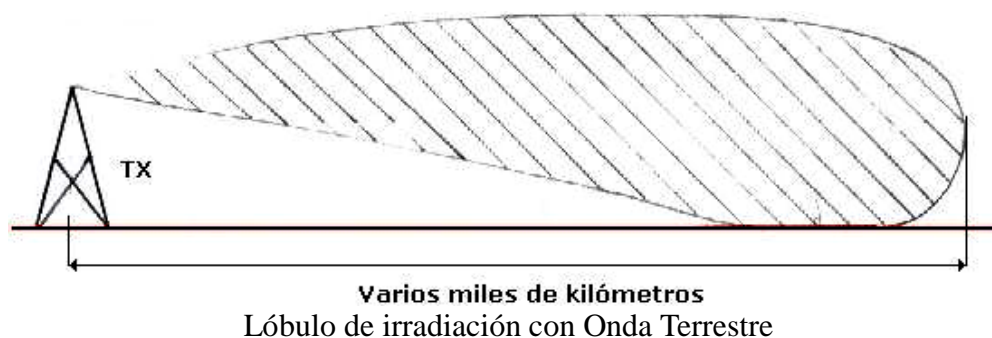
Propagación terrestre.

Las transmisiones entre 3 KHz y 30 KHz (VLF, LF, MF y HF) se propagan siguiendo la curvatura terrestre, asemeja una nube que se propaga a la velocidad de la luz copiando las imperfecciones del terreno. Presenta muy baja atenuación y propaga mejor en superficies espejos o zonas húmedas, logrando gran alcance dependiendo de la potencia. En superficies porosas se atenúa rápidamente.

¹⁹Hollmann, M.. "Christian Huelsmeyer". *Radar World*. (2007) Disponible en: www.radarworld.org/huelsmeyer.html



AEVYCA



Radares Transhorizonte Ionosférico

El Radar Transhorizonte OTH (OverThe Horizont) trabaja hasta los 300 MHz. Aprovechando el gran alcance de la Onda Ionosférica, el avance computacional para procesar la señal y los procesamientos digitales, se desarrollaron radares de muy largo alcance como los siguientes:



Antenas Transmisoras



Antenas Receptoras

29B6 KONTEINER²⁰

El radartranshorizonte ionosférico ruso KONTEINER o "Contenedor" es biestático opera con ondas decamétricas (3- 30 Mhz), con un alcance máximo de 3000 kilómetros hasta una altura de 100 km., sector de observación de 240° y procesamiento hasta 5.000 blancos.

AN / TPS-71²¹

Relocable Over The Horizon Radar (ROTHR), sensor de retrodispersión ionosférico biestático, que se adapta automáticamente a las condiciones ionosféricas. El sistema tiene un sitio de transmisión, uno de recepción y centro de control de operaciones. La reubicación se aplica solamente a los transmisores, receptores y el centro de control. El centro de control procesa la información en forma automática o manual y opera junto al radar o por separado.

Separación entre transmisor y receptor entre 50 a 100 NM, potencia 200 kW, frecuencia 5 a 28 MHz, sector iluminado 64° de ancho, rango de 926 a 2,963 km. La resolución de rango se logra transmitiendo una forma de onda de frecuencia modulada continua de 25 kHz.

Radares Transhorizontede onda terrestre

²⁰Lavrov, S. "Cazas furtivos estadounidenses detectados por un radar de contenedores ruso cerca de la frontera iraní" *Top War*. (02/12/20). Disponible en: es.topwar.ru/177684-amerikanskiye-stels-istrebiteli-u-granic-irana-byli-obnaruzheny-rossijskoj-rls-kontejner.html [18/07/21]

²¹Federation of American Scientists. "AN/TPS-71 ROTHR". *FAS ORG* (29/06/99) Disponible en: <http://www.fas.org/nuke/guide/usa/airdef/an-tps-71.htm> [20/07/21]



AEVYCA

Aprovechan la onda terrestre siguiendo la curvatura terrestre, denominada High Frequency Surface Radar (HFSWR). Emiten en una longitud de onda entre 10 y 100 metros.

SWR-503 (HFSWR)²²



Raytheon Canada Ltd desarrolló un radar de onda de superficie sobre el horizonte (OTH SW) con ondas decamétricas, cobertura hasta 200 NM, transmisor y receptor en el mismo lugar. La señal radiada consta de una secuencia de pulsos codificada en fase para detectar la señal reflejada del objetivo con una antena de red en fase.

RADAR CUÁNTICO

La Mecánica Cuántica²³ estudia la naturaleza a pequeñas escalas de sistemas atómicos y subatómicos, sus interacciones con la radiación electromagnética y otras fuerzas. En 1935 Einstein, Podolsky y Rosen predicen el entrelazamiento cuántico conocida como paradoja EPR. Brian Josephson en 1962, demostró que dos superconductores al separarse por una capa aislante muy delgada, permite que los electrones atraviesen el aislamiento sin ninguna fuerza electromotriz que los impulse. Aplicando una tensión de excitación, produce oscilaciones a frecuencias dependientes de la tensión, la constante de Plank y la carga de un electrón.

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Austria, el equipo de Shabir Barzanjeh²⁴ utilizaron microondas entrelazando sólo unos pocos fotones creando un RADAR CUÁNTICO. Basándose en un proceso de iluminación cuántica²⁵ que une dos partículas entre sí en forma intrínseca, logrando que cualquier variación en una partícula se manifiesta en la otra, sin importar la distancia.

²²LEIVA, Ariel y otros. “Radar de onda superficial de HF“ *Rev. Fac. Ing. Tarapacá, vol13 N°3 (2005)* . Disponible en: <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/01.oth/pubs/art03.pdf> [18/07/21]

²³De la PEÑA, Luis *Introducción a la mecánica cuántica* (3 edición). México DF: Fondo de Cultura Económica. (2006). ISBN 968-16-7856-7.

²⁴Unknown. El radar cuantico ha sido demostrado por primera vez“. *Oniria 706, Noticias de ciencia*. (2019). Disponible en: www.oniria706.blogspot.com/2019/08/el-radar-cuantico-ha-sido-demostrado.html [22/07/21]

²⁵ Ball, P “Quantum Mechanics Could Improve Radar”. *American Physics Society*. (27/02/15). Disponible en: physics.aps.org/articles/v8/18 [21/07/21]



AEVYCA

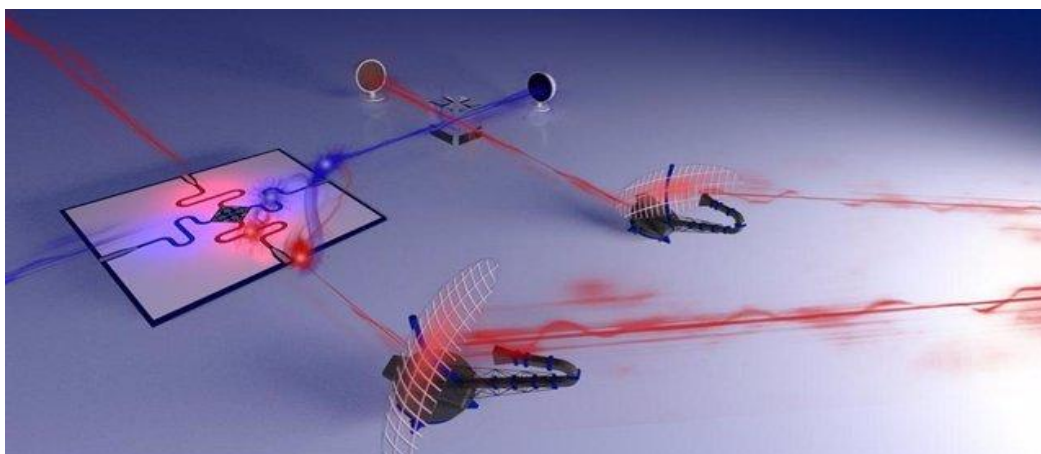


Ilustración de un prototipo de radar cuántico - IST Austria/Philip Krantz

Funcionamiento

El radar cuántico²⁶, crea pares de fotones entrelazados utilizando un convertidor paramétrico Josephson²⁷, el convertidor genera la señal con un primer fotón que queda en el dispositivo, mientras que su gemelo se envía como frecuencia al objetivo. Cada par cuántico está relacionado y se puede inferir la información de una partícula al estudiar la otra. Cuando el segundo fotón encuentra un obstáculo, el fotón estático cambia inmediatamente su estado, entonces el sistema compara los fotones "gemelos" y calcula las propiedades físicas del objetivo tales como su tamaño, forma, velocidad, ángulo de ataque, etc.

Lockheed Martin²⁸ presentó varias patentes de Radares Cuánticos. La corporación china CETC²⁹ ha presentado un prototipo de un radar cuántico .

²⁶Chan, DM. "Stealth killer: Quantum radar actually works". *AsiaTimes*. (8/09/19) Disponible en: www.asiatimes.com/2019/09/stealth-killer-quantum-radar-actually-works/ [21/07/21]

²⁷ Desconocido "El efecto Josephson". *Diario de Física*. (06/03/15). Disponible en: www.curiosidadesdelafisica14.wordpress.com/2015/03/06/el-efecto-josephson/ [21/07/21]

²⁸Weinberger, S. "Lockheed's "Spooky Radar" Gets U.S Patent". *Wired*. (22/05/08) Disponible en: www.wired.com/2008/05/lockheeds-spook/ [22/07/21]

²⁹ROMAN, V. „China presenta un futurista radar cuántico para sus aviones de combate“ *N+1* (14/11/18) Disponible en: <https://nmas1.org/news/2018/11/14/china-radar-cuamico-avion-tec> [20/07/21]



AEVYCA

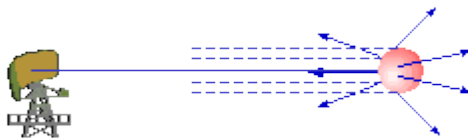
ANÁLISIS

AVIONES FURTIVOS

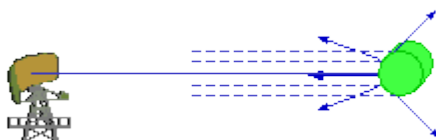
Entre los diferentes aspectos para incrementar la capacidad de supervivencia, el siguiente análisis centrará el foco en disminuir la probabilidad de detección, para ello es necesario reducir la RCS³⁰. Este parámetro depende de muchos factores y los determinantes son:

- la geometría física y las características exteriores del avión,
- la dirección del radar iluminado,
- la frecuencia de los transmisores de radar
- los tipos de materiales utilizados.

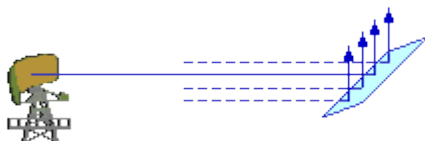
La RCS (σ) es la capacidad del objetivo para reflejar señales en dirección del radar ,medida en m². La potencia radar se distribuye en forma de esfera y el objetivo “rebota” también esféricamente, por eso el sensor recibe una ínfima parte de potencia. A continuación, observaremos figuras³¹ reflectantes independientemente de la frecuencia:



Dispersión hacia todos lados con una esfera.



Dispersión diferente con un cilindro.



Menor reflejo con una placa inclinada.

Para comprender la geometría y característica del diseño sigiloso debemos analizar la relación entre densidad de retrodispersión³² en la dirección del radar y la potencia interceptada por el objetivo. Para controlar esa dispersión usamos la geometría, materiales absorbentes y la teoría electromagnética de la dispersión por resonancia, que depende de la frecuencia del radar. La dispersión depende de la longitud de onda del radar frente al tamaño físico del objetivo. En la región de dispersión ÓPTICA, con la geometría del avión controlo la magnitud y la dirección de los reflejos. En la región de dispersión RESONANTE, la magnitud de la reflexión fluctúa con la longitud de onda y las características clave del avión. En la región de dispersión de RALEIGH, la reflexión es proporcional al tamaño físico del objetivo porque la longitud de onda es similar o mayor al tamaño del avión.

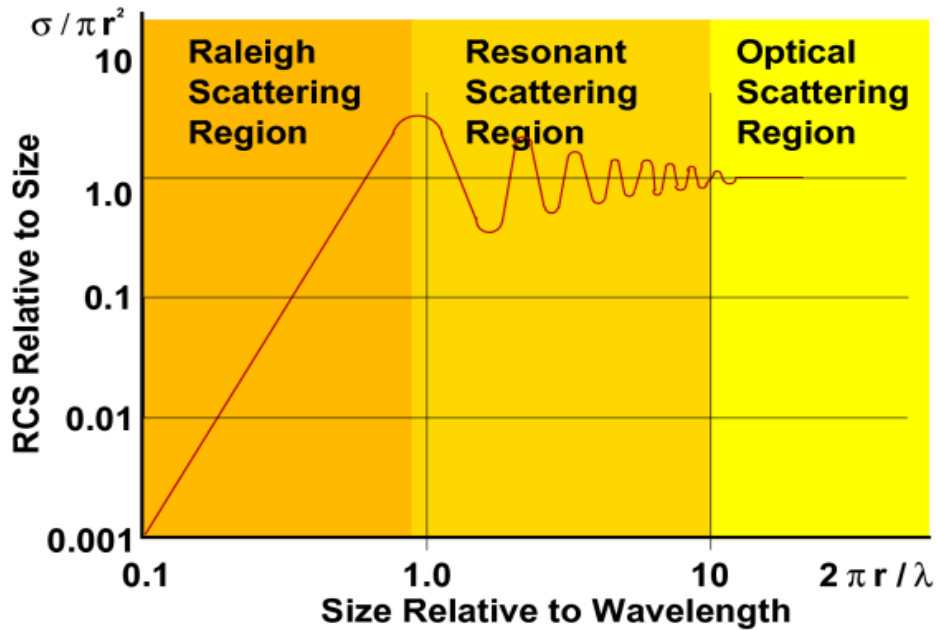
²⁸ Wolff, C. Capitulo “Principios matemáticos y físicos de la tecnología de radar”. *Radar tutorial*. Disponible en: www.radartutorial.eu/01.basics/rb01.es.html[23/07/21]

³¹ Ibid

³² Ibid



AEVYCA



Relación entre la RCS y la Longitud de Onda³³

En los cuerpos con alta conductividad, la sección transversal de dispersión se calcula utilizando métodos numéricos. Pero en la práctica, todo cuerpo absorbe energía y la señal reflejada no se distribuye igual en todas las direcciones. Entonces, la RCS es difícil de estimar y normalmente se determina por medición de la envergadura de las alas, la longitud del fuselaje, el vano del elevador, el estabilizador vertical, la altura del timón, y sus ubicaciones relativas. Para que el reflejo no vuelva al emisor se construye los aviones con ángulos como el ejemplo de la geometría predominante del bombardero F-117 de la USAF.



Cuando el avión vuela al alcance de radares de tiro, se necesita la reflexión en la banda decimétrica y centimétrica (Ku, K) y es necesario dispersar la señal entrante de manera

³³ KOOP, C. "Russian/PLA Low Band Surveillance Radars" *Air Power Australia* (2012) Disponible en: <http://www.ausairpower.net/APA-Rus-Low-Band-Radars.html> [24/07/21]



AEVYCA

controlada usando alineación de bordes, facetas y características geométricas como podemos ver en la figura del caza F-35 de la USAF.



Lo mismo sucede con el nuevo caza CHECKMATE³⁴, que gracias a los materiales compuestos, su geometría con ala delta y una gran toma de aire montada en la parte delantera, entrega una baja visibilidad radar.³⁵



Los grandes bombarderos furtivos tienen los ángulos, la geometría y el tamaño para evitar las 3 regiones de reflexión, logrando disminuir su detección para los diferentes sensores. Por esta razón Estados Unidos con el Northrop Grumman B-2 Spirit y China con el bombardero furtivo H-20³⁶ tienen un diseño similar con geometría de ala volante y tomas de aire dentro del fuselaje.

Diseño conceptual del H-20³⁷

³⁴Maiz, J. „Sukhoi Checkmate, el nuevo caza ruso de 5ª generación“ *Defensa.com* (23/07/21) Disponible en: <https://www.defensa.com/rusia/sukhoi-checkmate-nuevo-caza-ruso-5a-generacion> [29/07/21]

³⁵Mayshev, A. “Quien es el misterioso primer comprador del nuevo caza ruso Checkmate”. *Sputnik Mundo*. (26/07/21). Disponible en: mundo.sputniknews.com/20210726/quien-es-el-misterioso-primero-comprador-del-nuevo-caza-ruso-checkmate-1114483528.html [29/07/21]

³⁶Pastor, J. „China prepara su Xian H-20, un bombardero furtivo que completará la triada nuclear junto a sus submarinos y misiles“ *Xataka*. (2020). Disponible en: www.xataka.com/vehiculos/china-prepara-su-xian-h-20-bombardero-furtivo-que-completara-triada-nuclear-a-sus-submarinos-misiles [29/07/21]

³⁷TREVITHICK, J. „China da otra pista de como podría ser su enigmático bombardero furtivo H-20” *Sputnik Mundo*. (08/01/21) Disponible en: mundo.sputniknews.com/20210108/china-da-otra-pista-de-como-podria-ser-su-enigmatico-bombardero-furtivo-h-20-video-1094054209.html [28/07/21]



AEVYCA



RADAR PASIVO

Los radares tradicionales son conocidos por el enemigo y utilizan las contramedidas para no ser detectados. La técnica PCL (Localización Coherente Pasiva) mide el desplazamiento Doppler de la energía (emisoras de radio, televisión o telefonía móvil) reflejada en el blanco. Tienen un costo menor tanto de operación como de mantenimiento, ya que no poseen sistemas de transmisión

Esta tecnología es sencilla de aplicar. Alumnos universitarios como Max Manning³⁸ en sus trabajos utilizan circuitos SDR (Radios diseñados por Software) para desarrollar Radares Pasivos, inclusive colocan en la web información para lograr un radar biestático pasivo basado en radio FM³⁹.

Ventajas

El radar pasivo no puede ser detectado por el enemigo ya que no emite ningún tipo de radiación.

Al no emitir ninguna radiación no requiere la coordinación (para no emplear las mismas frecuencias) con otros estamentos o autoridades.

Detecta blancos volando a baja altitud, ya que las estaciones de TV y FM se localizan en puntos dominantes e iluminando hacia la superficie terrestre. Incluso objetos pequeños en zonas no cubiertas o no visibles, como pueden ser regiones montañosas.

Independencia operacional del clima porque las bandas de frecuencias que usan tienen mínima degradación ante condiciones climatológicas adversas.

Tamaño reducido, por lo que puede ser colocado en muchos sitios y hace posible la vigilancia de áreas amplias gracias a la utilización de receptores en red.

Desventajas

Los inconvenientes de estos sistemas radican en el procesamiento, la coordinación de las distintas señales y su alcance relativo. Su funcionamiento se basa en frecuencias que se usan para otras aplicaciones, dependiendo que en la zona de operaciones hayan transmisores de esas

³⁸MANNING, M. "Passive Radar" *Doppler Fish*. (s f) Disponible en: www.dopplerfish.com/passive-radar/ [27/07/21]

³⁹MANNING, M. „Max Manning/passiveRadar“ *GitHub* (2021) Disponible en: www.github.com/Max-Manning/passiveRadar [27/07/21]



AEVYCA

frecuencias. O bien instalar estaciones de ocasión, en lugares donde oportunamente se desarrollaran las operaciones, tantas como fueran necesarias.

RADAR TRANSHORIZONTE

Los Radares Transhorizonte trabajan en bajas frecuencias porque la propagación de esta onda llega a cientos de km. (onda terrestre), o llega a miles de kilómetros (onda ionosférica) con una precisión de ubicación del blanco variable. La necesidad de precisión en las mediciones para detectar los blancos aumentó la frecuencia, es así como la mayoría de los radares actuales emiten ondas con una longitud de onda milimétrica. Con el mismo criterio, los diseños de los aviones furtivos están pensados para contrarrestar las frecuencias de emisión más alta (menor longitud de onda); lo que hace que no sirva para radares que emiten en frecuencias bajas como los transhorizonte o los viejos radares que operaban en la banda de los 200 MHZ.

Ventajas

El sensor Transhorizonte al usar frecuencias de transmisión bajas, hizo que sirviera para detectar aviones furtivos. Porque las grandes longitudes de onda ingresan en la región de dispersión de RALEIGH, de esta manera pueden ser detectados en función de la relación tamaño del avión y longitud de onda.

A diferencia de los radares convencionales, la ionosfera ayuda al radar OTH para detectar a miles de kilómetros blancos a larga distancia como aviones, misiles hipersónicos e inclusive UAV. En cambio, los OTHSW detecta aviones a cientos de kilómetros pegados a la superficie siguiendo la curvatura de la Tierra utilizando la propagación terrestre.

Los radares en estas bandas de frecuencia están experimentando una reaparición, ya que las tecnologías Stealth no tienen el efecto deseado en frecuencias extremadamente bajas. Como ejemplo tenemos al radar ruso "Contenedor", que el 8 de enero de 2020, detectó seis cazas furtivos estadounidenses F-35 ubicados en la frontera iraní unas horas después de que Irán atacara bases militares estadounidenses en Irak. La estación de radar rastreó el movimiento de todos los aviones en el área, incluido los F-35.

Desventajas

Las antenas de estos equipos de radar son extremadamente grandes e incluso pueden tener varios kilómetros de longitud, son fijas y pueden ver solamente sectores predeterminados.

La precisión depende de la relación entre la longitud de onda y el tamaño de la antena, en estos radares el tipo de propagación aumentan el alcance a expensas de la precisión.

Las frecuencias de trabajo de los OTH están en la banda de servicios de comunicaciones, y esto genera interferencias como los cambios ionosféricos, ionosferización auroral y el efecto de retorno de mar que perjudica la observación de los ecos; lo que genera problemas de desaparición y/o multiplicidad del mismo eco.

RADAR CUÁNTICO

Ventajas

El radar Cuántico es resistente a las interferencias electromagnéticas por la inviolabilidad de los "fotones entrelazados", porque al intentar manipular o modificar el fotón que está viajando se "pierden las Características Cuánticas de los fotones" y esto se manifiesta en el fotón retenido lo



AEVYCA

que implica que sería detectado por el radar cuántico. Logrando una gran ventaja en el juego de la Guerra Electrónica.

Otro beneficio, es que emiten muy poca energía (radiación electromagnética detectable) por lo tanto son difíciles de detectar; una clara ventaja táctica en la guerra.

Por el principio de la “iluminación cuántica”, si la señal contuviera “fotones entrelazados” que choca con “aviones furtivos” se destacaría un débil eco de radar.

Por tener mediciones en el orden de los fotones su precisión es muy alta, proporcionando detalles que identifica las medidas y movimientos del blanco. Por ejemplo, podría definir la formay cantidad de motores.

Inconvenientes de la tecnología

Los fotones tienen que mantener ciertos estados cuánticos, como el giro hacia arriba o hacia abajo para permanecer entrelazados. Además, los estados cuánticos podrían interrumpirse, lo que resultaría en una "decoherencia"⁴⁰. La decoherencia es un factor limitante potencial para el alcance máximo efectivo de un radar cuántico operativo.

Esto podría conducir a métodos de interferencia de "decoherencia", para frustrar el radar cuántico, una tecnología que está lejos de obtenerse en el futuro relativamente próximo.

China⁴¹ dice tener un Radar Cuántico con un alcance de 100 kilómetros⁴², esta afirmación nos muestra que la realidad de la Electroóptica de hoy en día nos limita al tamaño de los elementos ópticos o sensores de los fotones. Sin embargo, el mayor desafío ha sido el pequeño número de fotones que regresan, con su número disminuyendo a medida que aumenta la distancia a un objetivo.

⁴⁰FORTIN, S. "Decoherencia cuántica" *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. (2016) Disponible en: http://dia.austral.edu.ar/Decoherencia_cuántica

⁴¹Lin J. y otros "China says it has quantum radar: what does that mean?" *Popular Science*. (27/09/16) Disponible en: www.popsci.com/china-says-it-has-quantum-radar-what-does-that-mean/ [29/07/21]

⁴²Román, V. "China presenta un futurista radar cuántico para sus aviones de combate" *N+I* (14/11/18) Disponible en: www.nmas1.org/news/2018/11/14/china-radar-cuántico-avion-tec



AEVYCA

CONCLUSIONES

Del análisis de la física del electromagnetismo se puede observar que según la frecuencia de trabajo del sensor y la RCS del avión determina la mayor o menor detección. Las necesidades de la mayor precisión llevaron a que los radares aumentaran su frecuencia, esto condujo a que las longitudes de onda fueran cada vez más chicas e ingresaran en la Región de dispersión ÓPTICA. En este enfrentamiento entre sistemas (pensando en la Supervivencia del avión), se definió que lo más peligroso es el radar de Artillería Antiaérea. Para evadirlo los diseñadores de aviones aprovecharon esta característica y desarrollaron la geometría del avión de tal manera que se puede controlar la dirección de los reflejos. La realidad demuestra la alta efectividad de los diseños furtivos, contra radares a medida que se reduce la longitud de onda. De esta manera, es que una entrada de motor alineada en el borde de dimensiones típicas funcionará mejor y menos cuando aumenta la longitud de onda del radar, significa que para que funcione la furtividad, el avión debe ser mayor que la longitud de onda.

Siempre una parte de la onda retorna al radar, por eso es que se modificaron las antenas, los receptores, e introdujeron técnicas de mejoramiento de la Relación Señal /Ruido para que los sensores tuvieran mayor sensibilidad y pudieran detectar. Como contraposición, a los aviones se les redujo la firma IR y en el ámbito electromagnético se les agregó un tratamiento en su superficie para que pudieran “absorber” más la señal recibida.

Con estas dos técnicas logran disminuir la RCS y obtener el calificativo de “Sigiloso”.

Repasando los principios de la propagación, encontramos que la Región de dispersión de Raleigh trabaja con la mitad inferior de la banda de HF. En esas frecuencias, las longitudes de onda son tan grandes que los aviones de ataque y misiles de crucero,(que son de dimensiones pequeñas)no dispersan la emisión y reflejan lo suficiente para ser detectados. Por eso Rusia y China están empeñados en construir Radares Pasivos y Transhorizonte como el DWL-002y el 29B6 KONTEINER, que logran detectar a los aviones furtivos.

Ahora, el Bombardero B1 de USA por su tamaño, geometría y superficie antirrefleitora, ingresa en las TRES (3) Regiones de Dispersión explicadas. Su firma radar es tan baja que es difícil detectarlo. Esto explica el desarrollo del nuevo B 21 de EEUU y el H-20 de China, quedando nuevamente la balanza inclinada a favor de los grandes Bombarderos Furtivos.

La tecnología cuántica de “pares entrelazados” es tan precisa que puede distinguir hasta la forma de los blancos, pero la teoría demuestra serias dudas en el alcance de estos radares. Hasta que no se pueda comprobar, las conjeturas de su efectividad seguirán en duda.

Cada país utiliza sus capacidades para inclinar la balanza a su favor: Rusia utiliza el concepto militar de Masa con el vuelo en Enjambre con su Checkmate; Estados Unidos pretende instalar en los B-2 sistemas que le ayuden con su doctrina de mando y control integrada, y China con los Radares Pasivos, Cuánticos y aviones furtivos, replicando las dos estrategias anteriores. El Juego de las Medidas y Contramedidas para “detectar” o “evadir” continuará.

La República Argentina debería tomar nota de las nuevas tecnologías actuando en función de sus capacidades, como ser el desarrollo de Radares Transhorizonte y Pasivos a través del INVAP,



AEVYCA

sin descuidar la investigación del LIDAR (radar Laser) que es la introducción a los sensores Cuánticos.

GLOSARIO

ATTRITION es el desgaste que tiene una Fuerza, relacionando cantidad de salidas en un período de tiempo y la probabilidad de derribo, donde se analiza el riesgo de quedarse sin medios aéreos.

BBC British Broadcasting Company

CETC China Electronics Technology Corporation

COTS Commercial Off-The-Shelf (Componente tomado de estante)

EEUU Estados Unidos

FM Frecuencia Modulada

HF High Frequency

HFSWR High Frequency Surface Wave Radar

IA Inteligencia Artificial

LF Low Frequency

LIDAR Laser Imaging Detection and Ranging

LRS-B Long Range Strike Bomber

MHz Megahertz

MF Medium Frequency

OTH Over The Horizont

OTH SW Over The Horizont Surface Wave

RCS (Radar Cross Section) La “sección transversal de radar” es la característica física que tiene un avión para reflejar la onda radar.

SDR Radios diseñados por Software

UAV Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo sin tripulante)

USAF United State Air Force

VLF Very Low Frequency

Comodoro Mayor (R) Eduardo D. MATEO

Vocal de Tecnología de la AEVYCA

Socio AEVYCA Nro 0069