

Visión Nocturna

Antonio Cañada y José Luis Montesino-Espartero

INTRODUCCION.

El hombre está preparado para desenvolverse en su entorno vital: el cuerpo humano comprende varios sistemas perceptivos mediante los cuales recibe información exterior que procesa para tomar decisiones. Entre ellos está el sistema visual. Gracias a él, aprovechamos la información que nos llega mediante la luz irradiada o reflejada por otros cuerpos. El ancho de banda de este sistema sensible a las radiaciones electromagnéticas está limitado al espectro visible (longitudes de onda entre $0,4 \mu\text{m}$ (violeta) y $0,75 \mu\text{m}$ (rojo)). Debido a ello, en los momentos de oscuridad (en ausencia de fuentes lumínicas) el ojo no capta información exterior.

Existen dos alternativas para intentar paliar esta limitación: la iluminación artificial, o detectar las radiaciones no visibles que emiten los cuerpos. 'Visión Nocturna' es el concepto que alude al desarrollo de sistemas que permitan al hombre 'ver' en condiciones de oscuridad, bien captando luz de muy baja intensidad en ambientes de cuasi-oscuridad (Tubos de Intensificación de Imagen) o detectando radiaciones no visibles (Detección Térmica).

Hasta ahora, la gran mayoría de proyectos de Visión Nocturna realizados se han dado en el campo militar y policial debido al alto interés estratégico de estos sistemas. De ahí que los conceptos fundamentales de su funcionamiento estén ilustrados con este tipo de aplicaciones.

TUBOS DE INTENSIFICACION DE IMAGEN.

Desde la aparición de los primeros tubos en los años 50 hasta nuestros días ha habido un gran avance en cuanto a prestaciones, debido a la utilización de nuevos materiales y mayor integración, pero no ha variado mucho su funcionamiento básico. Por tanto para poder explicar posteriormente la evolución de los tubos intensificadores de imagen con mayor claridad empezaremos describiendo el funcionamiento de un sistema general.

Funcionamiento:

En todo tubo de intensificación de imagen podemos distinguir tres partes fundamentales:

1. Objetivo: Se reciben los fotones debidos principalmente a la radiación en infrarrojo cercano que proviene de la reflexión de la luz de las estrellas y la luna en los objetos.

2. Fotocátodo: Podríamos decir que es la parte principal y en la que se han obtenido mayores mejoras. Consiste en un material que convierte los fotones en electrones, éstos son a su vez acelerados y focalizados.

3. Pantalla: Normalmente una pantalla de fósforo donde los electrones pasan de nuevo a fotones para ser observados.

Una vez descrito el funcionamiento general vamos a ver la evolución que han experimentado los tubos de imagen.

Evolución histórica:

Hasta hoy han habido tres generaciones con diversas mejoras y evoluciones dentro de cada una de ellas. Y en base a estos tres tipos de tubos se han construido gran variedad de binoculares y miras destinados a la visión nocturna en su mayor parte con fines militares.

Generación I:

Los primeros tubos intensificadores de imagen son los denominados de primera generación (Gen. I) y fueron utilizados en la guerra de Vietnam. Las características principales de éstos son:

- Utilización de altos voltajes para acelerar los electrones, de 10 a 30 kV.
- Poca autonomía y baterías muy pesadas.

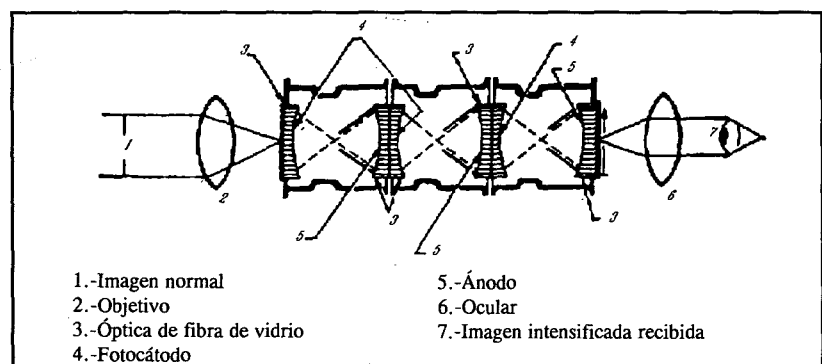


fig.1

- Fotocátodos trialcalinos de cesio, sodio, potasio, antimonio. También llamados S-25 o S-20.

- Sensibles en el siguiente margen de longitudes de onda: 0.4 a 0.85 μm .

- Varias etapas acopladas ópticamente dan una mayor ganancia, cada etapa se compone de fotocátodo y pantalla de fósforo dispuestas tal como muestra la figura 1.

El modelo más representativo de esta generación es el AN/PVS-2. Este modelo se montó sobre rifles M-16 dotándoles así de una visión nocturna de unos 360 metros.

Generación II:

La segunda generación de tubos desarrollada en los 70 introdujo un importante avance conocido como MCP (MicroChannel Plate). Esta técnica consiste en utilizar un disco colocado después del fotocátodo y horadado por multitud de canales, de 2 a 3 millones en un disco de 18 mm. de diámetro. De esta forma se consigue que al rebotar en las paredes del tubo los electrones incidentes produzcan nuevas emisiones, obteniendo así un crecimiento exponencial, por cada electrón que entra salen 1000.

De esta forma conseguimos que cada agujero o tubo se convierta en un amplificador independiente que podemos asociar a un pixel de la salida. Una vez los electrones salen del MCP hay que convertirlos de nuevo a fotones, para ello el método más simple es el ya utilizado en la generación I que consiste en una pantalla de fósforo. Otro método simple es utilizar un ánodo conductor que convierte las nubes de electrones en corriente que es conducida a un preamplificador y luego a un ordenador u otro elemento de representación.

Esta nueva técnica empleada en la Gen. II se tradujo en una reducción del peso y volumen de los tubos así como del voltaje utilizado colocándose ahora alrededor de los 6 kV. De esta forma ya se pudieron realizar equipos más transportables

que describiremos a continuación.

Una importante desventaja de estos tubos de generación II era su corta vida operativa. El AN/PVS-4 fue uno de los primeros que introdujo el tubo Gen. II y se realizaron varias versiones, primero de mano y posteriormente para montar en rifles.

La unidad más vendida hasta ahora ha sido la conocida como AN/PVS-5 que incorpora dos tubos de segunda generación y puede ser montada en un casco dejando las manos libres. Esta última característica dota a esta unidad de propiedades excelentes para la conducción y el pilotaje, tanto es así que se ha seguido utilizando hasta nuestros días. Con la aparición de este modelo se empezó a considerar y a probar su uso para la aviación y principalmente para helicópteros.

Sobre este modelo se han ido haciendo una serie de mejoras, tales como:

- Fotodetector para apagar el tubo cuando es expuesto durante un periodo de tiempo a una luz fuerte, de esta forma evitamos dañar el tubo y gastar baterías inútilmente.

- Tubos de segunda generación mejorados; incorporan cristales de mayor luminosidad que las fibras ópticas utilizadas anteriormente.

- Utilización de técnicas activas, para mejorar el comportamiento de los binoculares también conocidos por NVG (Night Vision Goggle):

+Para la lectura de mapas, haz de luz en IR-cercano con un alcance de unos 2 m.

+Para apuntar rifles: AN/PAQ-4, es un laser de arseniuro de galio que se monta sobre el rifle y produce un punto de luz no visible por el ojo sobre el blanco. Esta técnica ha sido de gran utilidad ya que facilita mucho el apuntamiento con NVG,

que resultaba anteriormente de gran dificultad.

La siguiente mejora importante aparece en los binoculares AN/PVS-7 que constan de un solo tubo y una sola lente, pero dos oculares, reduciendo de esta forma a prácticamente la mitad el coste del aparato y haciéndolo más asequible para usos masivos y de infantería. Una serie de modificaciones en el modelo anterior permitieron obtener el primer NVG para visión submarina, pudiéndose utilizar hasta 50 m. de profundidad en agua salada.

Hay que destacar que estos tubos se siguen utilizando hoy en día y que jugaron un importante papel en misiones de infantería en la Guerra del Golfo.



AN/AVS-6

Generación III:

La principal innovación que se introduce en los tubos de tercera generación son los fotocátodos de GaAs, con los que se obtiene una sensibilidad tres o cuatro veces mayor, un aumento de vida útil de 2000 horas (II gen.) a 7500 h. y una mejor respuesta en infrarrojo cercano. Por tanto básicamente y funcionalmente estos tubos son iguales a los anteriores.

La implantación de estos tubos se va haciendo progresivamente y normalmente sobre modelos como el

AN/PVS-7 que antes utilizaban tubos de segunda generación. El aparato de visión nocturna más utilizado que incorpora tubos de esta generación es el AN/AVS-6 (ANVIS) que consta de dos tubos de Gen. III alimentados por dos baterías y va montado sobre un casco.

Este NVG está especialmente indicado para misiones nocturnas en helicóptero y fue muy utilizado en el Golfo, donde se pudieron ver sus mayores carencias. A raíz de ello se han introducido algunas mejoras de las que cabe destacar el ANVIS/HUD (Heads-Up Display).

El HUD surgió al constatar la desorientación y desconcierto que sufrían los pilotos por el exceso de información en la cabina y el tener que levantar y bajar la cabeza para ver los instrumentos. De forma que en los últimos aparatos se ha introducido dentro del visor un pequeño tubo de rayos catódicos que presenta la información principal como la velocidad del viento, la altura, dirección, etc. Y además existe la posibilidad de reducir la cantidad de información presentada en cabina. También hay que decir que actualmente se están diseñando pantallas en color (AMLCD) para aviones y helicópteros de forma que sus coordenadas de color sean compatibles con los NVG y de esta forma se tenga una visión de todos los colores de la pantalla tanto sin como con NVG.

Otra mejora que se ha introducido en la Gen III es el aumento de resolución que ha pasado de 28 pares de líneas por milímetro a 36 lp/mm.

Actualmente bajo desarrollo está la que se conoce como generación 3.5 que introduce fotocátodos más sensibles, mayor resolución (hasta 60 lp/mm), aumento del ocular de 18 a 25 mm para tener una buena imagen para mayor grado de posiciones del ojo, aumento del FOV (Angulo de visión) de 40° a 60°.

Las contramedidas utilizadas contra los NVG son flashes y focos potentes o como en la guerra del Golfo hacer importantes hogueras

que en ese caso fueron los pozos de petróleo.

Detección infrarroja

Los sistemas de Visión Nocturna basados en la detección de radiación infrarroja (Forward Looking Infrared Sensors: FLIR) aprovechan que los cuerpos emiten calor para observar el entorno de manera pasiva. En la atmósfera las radiaciones de calor que mejor se propagan son las de longitud de onda comprendidas en los márgenes 2-5 μm y 8-15 μm (Infrarrojo medio y lejano). La radiación de onda corta se propaga mejor que la de onda larga en ambientes húmedos, pero se comporta peor ante la presencia de aerosoles en suspensión. La presión barométrica y la temperatura son también condicionantes de la propagación de calor. En los peores casos, la transmisión de infrarrojos en condiciones de lluvia o niebla intensas se vuelve imposible.

Sensores de infrarrojos:

Existen dos tipos de sensores infrarrojos: los térmicos y los cuánticos. Los primeros producen corriente eléctrica proporcional a los incrementos de temperatura debidos a la energía radiada por los cuerpos observados. Los tiempos de respuesta de estos sensores son altos (del orden de los milisegundos), pero tienen una sensibilidad uniforme en todo el espectro de frecuencias, y no necesitan refrigeración. En cuanto a los detectores cuánticos, son semiconductores que aprovechan la energía fotónica para generar electrones y pasar del estado de corte al de conducción, generando así una carga que contiene información y que se trata posteriormente. A pesar de que los tiempos de respuesta de estos sensores es muy inferior al de los térmicos (del orden de los micro o nanosegundos), no tienen una sensibilidad uniforme a lo largo del espectro, requiriendo así sistemas de refrigeración.

Existen dos tipos de detectores cuánticos, diferenciables por el

modo de trabajo:

- Fotoconductividad: Al polarizar el detector con un potencial externo, una corriente proporcional a los fotones que llegan atraviesa el dispositivo, generándose así la señal eléctrica que será procesada. En este grupo se encuentran los detectores basados en Telúrido de Mercurio y Cadmio (HgCdTe) y los Dispositivos Acoplados por Carga (CDD) que son integrables.

- Fotovoltaicos: Se trata de uniones P-N semiconductoras. En bornes de la unión aparece una tensión proporcional a la cantidad de fotones que impactan en la unión. En este grupo se encuentran los detectores basados en Arseniuro de Galio (GaAs) y Antimónido de Indio (InAs).

Los sensores que se utilizan en los sistemas FLIR están basados en materiales detectores como el Antimónido de Indio (InSb: 3-5 μm) o el Telúrido de Mercurio y Cadmio (MCT: 8-13 μm). Los dispositivos diseñados requieren sistemas de refrigeración (a temperaturas cercanas a la liquefacción del Helio: 70 K) para trabajar con la mejor sensibilidad posible de los materiales empleados. Hoy día se investiga en detectores ferroeléctricos cerámicos que trabajen a temperatura ambiente, y de menor coste, como los de Titanato de Bario y Estroncio (más baratos, aunque de peores prestaciones que el MCT). También se investiga para conseguir un mayor grado de integración.

Los CCD (creados en 1970 en los laboratorios Bell) son circuitos integrados MOS cuya información está bajo forma de paquetes de carga creados al incidir la radiación. Así, la información captada por los detectores es transportada mediante una señal de reloj hacia amplificadores para su posterior tratamiento. El gran atractivo de estos dispositivos es que permiten alta integración, abrir la posibilidad de realizar fácilmente un procesado digital de la imagen, y trabajar con gran sensibilidad y bajos niveles de ruido. Como consecuencia, las resoluciones de las imágenes obtenidas con CCD son muy altas (dependiendo del grado de integra-

ción, hasta 4096 * 4096 pixels).

El diseño de los primeros sensores infrarrojos se basó en distribuciones (arrays) lineales de 60, 120, 180 o 240 detectores. Se generaba una señal eléctrica integrando la información de cada detector obtenida tras un barrido del array mediante un espejo poligonal rotando a unos 35000 rpm. Luego, la señal se amplificaba para su posterior procesado. Los sensores de segunda generación ya incluyen arrays planos con al menos 240*4 detectores, incorporando los nuevos refrigeradores termoeléctricos, mucho más manejables que los anteriores refrigeradores criogénicos. La capacidad de integración es mucho mayor, y no es necesaria la técnica de barrido óptico de los detectores, sino que éstos están directamente expuestos a la radiación (CCD).

Aplicaciones:

Las principales aplicaciones de la detección infrarroja para observar entornos en malas condiciones de visibilidad son principalmente militares. En efecto, los sistemas FLIR tienen un gran interés logístico, sobre todo aplicados al combate nocturno, donde su uso puede ser una ventaja decisiva para el ejército que los posea. La mejora de prestaciones operativas respecto a los sistemas de amplificación de imagen son importantes tácticamente: el alcance es mayor, se puede trabajar en condiciones de oscuridad total, y se es inmune a las contramedidas que afectan a los sistemas de amplificación.

Se está diseñando los primeros sistemas térmicos montados en armas portátiles, como rifles, morteros, bazookas, etc. Se trata de sistemas de segunda generación, en los que es crítico el peso del sistema. En efecto, el primer requisito a cumplir es un peso compatible con el armamento: los visores térmicos tienen que ser ligeros. Hasta ahora varias empresas están trabajando en visores para rifles y artillería ligera. El Ejército de los EEUU lanzó a mediados de los años 80 los programas TWS (Thermal Weapons Sight) y RTS (Short Range Thermal Sights). Los resultados hasta el momento (los di-

vulgados) son visores de sensores de tecnología planar, y pesos de entre 1 y 2 kg, y alcances desde los 700 m hasta los 1200 m (Hughes, Texas Instruments, Magnavox, Honeywell, Thorn-Emi, etc). En cuanto a los niveles de sensibilidad conseguidos, hay dispositivos que detectan diferencias de temperatura de hasta 0,1°. El campo de visión observable llega hasta los 20°*12° del sistema WASP (Wide Angle Stinger Pointer) desarrollado por Magnavox para el sistema de misiles tierra-aire portátil Stinger.



TWS de segunda generación.

Los sistemas FLIR son también un elemento táctico y de ayuda a la navegación muy importantes para tanques, helicópteros y sobre todo para la aviación. Gracias a los sistemas FLIR (largo alcance: 10-15 km en condiciones de poca humedad; e imágenes de alta resolución y campos de visión de 20-30°), los pilotos de aviones supersónicos disponen de una ayuda importantísima para misiones de vuelo a baja altura. Es el caso de los F-15E y F-16 de apoyo (CAS: Clos Air Support) operativos en la operación Tormenta del Desierto, en los que se instalaron sistemas FLIR LANTIRN (Low Altitude Navigation and Targeting for Infrared Night).

El sistema LANTIRN se compone de un equipo de seguimiento de blancos por laser, y un equipo de

navegación combinando un radar de observación del terreno y un FLIR con ancho campo de visión. Se están desarrollando sistemas de exploración del espacio que permitan al piloto observar el entorno libremente, ya que los sistemas instalados en los aviones sólo trabajaban en una dirección fija (Programa Falcon Eye FLIR: sensor esférico, que permite al piloto orientarse al observar). La información de los FLIR se presenta en pantallas 2-D o directamente en la visera del casco del piloto. En Europa se

desarrollan programas de sistemas de imagen térmica, como los CONDOR (por el consorcio europeo SATEL: SAT de Francia, Electro de Alemania, Thorn-Emi de Gran Bretaña). Estos sistemas se basan en arrays de CdHgTe hibridizados en chips de CCD (IR CCD) y requieren refrigeración a 77 K. El campo de visión, gracias a la óptica usada, puede variar entre 70°*30° y menos de 1°*1°, y comprende un sistema laser (10 µm) para determinar alcances. Este sistema equipará a los ejércitos de los países asociados.

La investigación sobre visión nocturna se orienta hoy día hacia la detección infrarroja como apuesta de futuro, una vez que las líneas de investigación en intensificación de imagen se van agotando. A partir de ahora se trabajará en sensores de

infrarrojos para aplicaciones de corto y medio alcance, a la par que se empieza a usar los avances alcanzados hasta ahora en actividades civiles: control policial, observación de animales en entornos ambiguos (Barr and Stroud thermal-imaging system de Pilkington Energy Advisors Ltd.: sistema para observación aérea de osos en la nieve y focas grises en bancos de arena en zonas polares cuando la observación visual es imposible por la altura del avión), etc.

CONCLUSION.

A medida que se usan los nuevos equipos de visión nocturna en operaciones militares, se acumula experiencia útil para tratar de mejorar los equipos y tratar de evitar situaciones equívocas. En efecto, uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el militar al actuar con equipos de visión nocturna es cómo identificar si un blanco es amigo o enemigo. Hasta ahora, bien debido a un poder de resolución insuficiente o a una falta de familiarización o entrenamiento con los nuevos sistemas, en los conflictos en que se ha actuado en misiones nocturnas han habido bajas debidas a fuego 'amigo': se dio el caso en el Conflicto del Golfo en que una unidad mecanizada americana que se defendía de soldados iraquíes con fuego de granadas confundió a tanques amigos situados a unos kilómetros. Estos, al creer que se trataba de fuego hostil dispararon, y como resultado hubo 6 muertos, 25 heridos y varios tanques y blindados destruidos. Como soluciones se ha pensado en equipar a los vehículos de balizas infrarrojas para su identificación, y usar computadoras más rápidas y potentes para ayudar a los soldados, que analicen la información en tiempo real.

La próxima generación de sistemas de visión nocturna serán los de fusión de imagen (Image Fusion). En ellos se combinarán los FLIR (integrando sensores de 2-5 μm y 8-15 μm simultáneamente: equipos multifrecuencia) con los sistemas de Amplificación de Imagen, reduciendo así las probabilidades de error de identificación. Serán equipos con

campos de visión mayores y mejor resolución de temperatura (como los Advanced Helicopter Pilotage display and sensors subsystems previstos por los EEUU para 1995: una pantalla binocular montada en el casco con un campo de visión de 40°*80°, dualidad de sensores de AI (0,6-0,9 μm) y FLIR (8-12 μm), y resolución mínima de temperatura mejorada en un 50%.

Bibliografía

Rawls, James W., *Lasers: The battlefield tools of tomorrow are here*, July 1989 Defense Electronics.

Koehler, T., *Infrared detectors continue to diversify*, March 1991 Technology guide: Detectors; Laser Focus World.

Jaszka, Paul R., *The Laser and its Military Applications: A Primer*, July 1989 Defense Electronics.

Blouke, M. M., *Charge-coupled devices reach maturity*, March 1991 Technology guide: Detectors; Laser Focus World.

Powers, Galen D., *MCP-based detectors are versatile*, March 1991 Technology guide: Detectors; Laser Focus World.

Messenger, Heather W., *Wide range of choices faces detector users*, March 1991 Technology guide: Detectors; Laser Focus World.

Olsen, Gregory H., *InGaAs fills the near-IR detector-array vacuum*, March 1991 Technology guide: Detectors; Laser Focus World.

Dance, Brian, *Thermal imagers spot animal life in polar regions*, March 1991 Laser Focus World.

Dance, Brian, *Europeans work together on military thermal imagers*, March 1991 Laser Focus World.

S.R.G., *Weapon sights use Thermal Technologies*, July 1989 Defense

Electronics.

Gourley, Scott R., *Piercing the Darkness*, July 1989 Defense Electronics.

Lum, Zachary A., *Technology Brightens Night Fighting Possibilities*, November 92 Journal of Electronic Defense.

Webb, P. W., *Thermal imaging of electronic devices with low surface emissivity*, June 1991 IEE Proceedings-G.

Abileah, Adi and Yaniv, Zvi, *A full color AMLCD with NVG class B Compatibility*, July 1992 IEEE AES Magazine.

Berardines, Lawrence A., *No place to hide*, October 1991 Machine Design.

De Los Riscos Murciano, Francisco, *Técnicas modernas para visión nocturna*, Octubre 1972 Revista Ejército.

Muller, Richard S. and Kamins, Theodore I., *Electrónica de los dispositivos para circuitos integrados*, Ed. Limusa 1986.

Edmund Scientific Company, *Annual Reference Catalogue for Optics, Science and Education*.

Salas Lopez, Fernando, *Empleo táctico del armamento*, 1973 Imprenta Artes Gráficas.

Rotolante Ralph A., *Military IR-detector market remains stable*, February 1991 Laser Focus World.

