INTENSIFICACIÓN DE IMAGEN, CONOCIENDO A UN DESCONOCIDO

Jorge Soffia Fernández*

La evolución de tecnologías y procedimientos empleados en las acciones tácticas aplicadas en el marco de operaciones de guerra y de no guerra, tienden a explotar la sorpresa e incertidumbre del oponente y a reducir el daño colateral mediante su ejecución en horas de oscuridad. Es en este escenario donde la confiabilidad y nivel de desarrollo alcanzado por los intensificadores de imagen permiten niveles de coordinación y sincronización esenciales para el éxito de las operaciones.

A comienzos de la década de los noventa, el entonces Comandante de la 24th Infantry Division del U.S. Army, General Barry McCaffrey citó: "Nuestra capacidad de visión nocturna proporcionó la única gran diferencia de toda la guerra." Así lo dejó claro, al ser preguntado sobre las diferencias entre sus tropas y las del enemigo iraquí en la reciente finiquitada Operación Tormenta del Desierto.

El dominio de la oscuridad se ha vuelto una anhelada capacidad por quienes participan en operaciones de combate, y a su vez, representa una ventaja indiscutible en función de la sorpresa y seguridad de las mismas.

La luz y el hombre

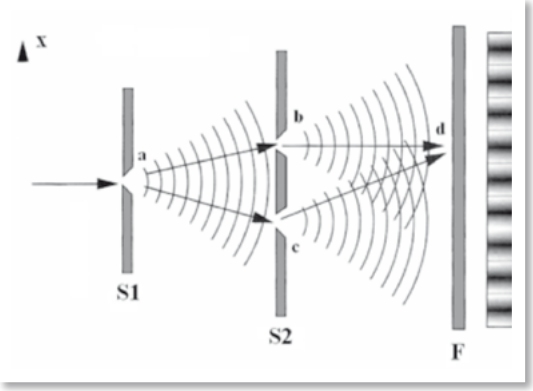
Desde los inicios de nuestra existencia la oscuridad o ausencia de luz ha sido interpretada como un patrón impeditivo a las capacidades del ser humano. Incluso en el marco de la mitología, antes de los inicios del cristianismo y en tiempos del gnosticismo, la oscuridad se asociaba al mal, la luz al bien, y que la existencia del mundo terrenal resultó producto de la batalla entre ambos.

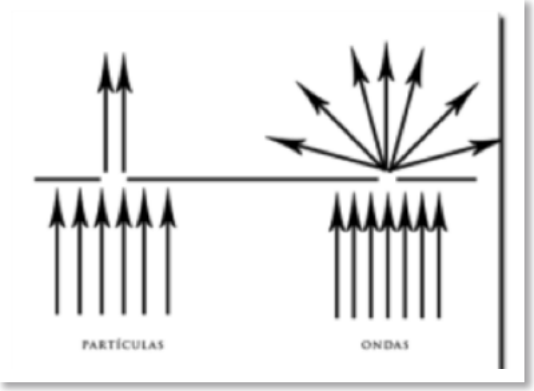
Los seres humanos son sustancialmente "diurnos". A diferencia de otros mamíferos vertebrados, el hombre carece del Tapetum Lucidum, el cual se ubica en la parte posterior del ojo y actúa como reflector de los rayos luminosos, incrementando el flujo de luz hacia los fotorreceptores. Esto, en el caso de quienes lo poseen, como los gatos, perros, murciélagos, entre otros, otorga comparativamente, una desarrollada visión nocturna.

Estudios sobre la luz

Algunos de los primeros estudios científicos que aportaron bases para posteriores investigaciones sobre la luz, datan del siglo XIII, atribuidos al gran científico y filósofo de la época Roger

* Teniente 1º IM.





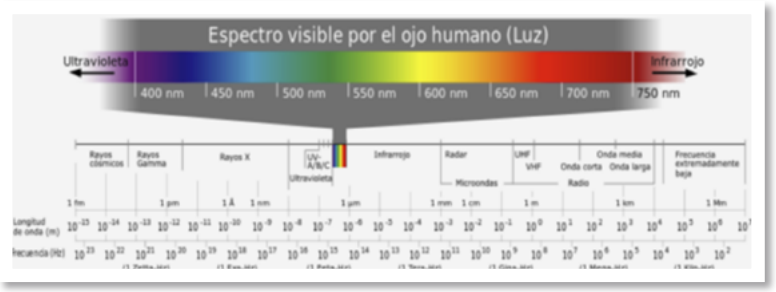
Bacon. Posteriormente, uno de los más grandes científicos de la historia, Isaac Newton efectuó, a mediados del siglo XVII, estudios sobre óptica y naturaleza de la luz, postulando que la luz se propaga en línea recta y no por medio de ondas.[1] Esta teoría, si bien inicialmente fue aceptada por la comunidad científica debido a la autoría intelectual de Isaac Newton, se contraponía a la teoría ondulatoria[2] de Christian Huygens que en 1678 postulaba a la luz como ondas y no partículas.

Bien es sabido que a comienzos del siglo pasado la comunidad científica estaba en una posición incómoda respecto a las propiedades de la luz, puesto que en algunas instancias respondía como onda y en otras como partícula.

El tema fue resuelto en el año 1925 por Luis de Broglie,[3] quien propuso que el movimiento de todo corpúsculo viene regido por una onda asociada. La mecánica cuántica se basa en la confirmación experimental de dicha teoría.

Nace así, lo que actualmente considera que, la dualidad onda-partícula es un "concepto de la mecánica cuántica, según el cual no hay diferencias fundamentales entre partículas y ondas: las partículas pueden comportarse como ondas y viceversa".[4] Esto dio paso a un masivo interés en explotar las propiedades de la luz por parte de la comunidad científica y militar.

Si bien, fueron muchos los intentos en vano de científicos por desarrollar un dispositivo aplicable al ámbito de las operaciones militares, que llevara a la práctica todo el conocimiento adquirido hasta esa fecha, los primeros en tener éxito fueron G. Holst y H. De Boer (Países Bajos), quienes en el año 1928 propusieron la idea de aplicar el concepto de intensificación de luz en un sistema óptico. Recién en el año 1934 logran desarrollar con éxito el primer dispositivo, el que se componía de un fotocátodo, y mediante el proceso de fotoemisión remitía electrones, los cuales absorben la energía de los fotones captados por el mismo, hacia una pantalla fluorescente ubicada a estrecha distancia del fotocátodo.



La evolución de los estudios relacionados con la luz, permitieron poco antes de mitad del siglo XX, experimentar en el desarrollo de tecnología que

1. Isaac Newton, Opticks (1704) Teoría Corpuscular.
2. Christian Huygens, Tratado de la Luz (1690).
3. Príncipe Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie (Francia; 15 de agosto de 1892-París, 19 de marzo de 1987), Premio Nobel de Física, por su descubrimiento de la naturaleza ondulatoria del electrón, conocida como hipótesis de De Broglie.
4. Stephen Hawking, 2001.

permitiera mejorar las capacidades de observación en horas de poca luz u oscuridad. Ya era sabido a esa altura que nuestra retina actuaba como un sensor que detectaba la luz, la cual en su condición de radiación electromagnética, es detectable por el ojo humano cuando su longitud de onda varía en un espectro de 0.36 µm a 0.8 µm.

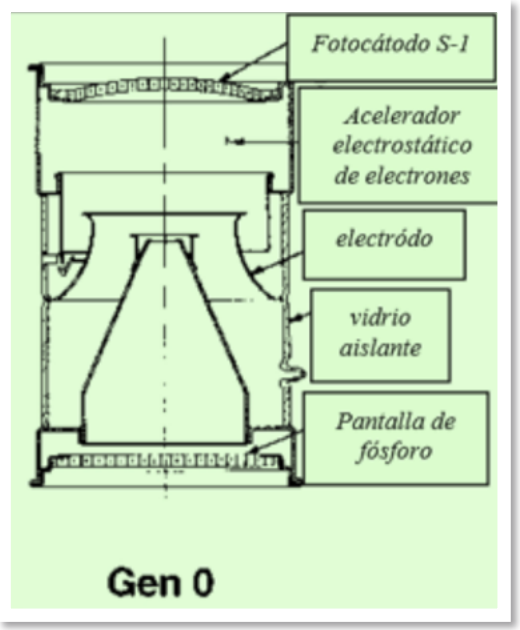
Así nace el concepto de Visión Nocturna, el cual alude al desarrollo de tecnología que permite al hombre ver en condiciones de poca luz, captando luz residual en ambientes de cuasi-oscuridad (Tubos Intensificadores de Imagen) o detectando radiaciones no visibles (Sensores Térmicos).

Desarrollo en Defensa

Inmediatamente posterior al éxito de G. Holst y H. De Boer, a mediados de la década de los 30´, los Estados más poderosos a la fecha, vieron un gran potencial estratégico en la aplicación militar de dicha tecnología. La Segunda Guerra Mundial fue un campo experimental para los británicos, alemanes, rusos y norteamericanos, en lograr consolidar el avance científico en la materia, y se limitaba a lo que posteriormente se llamó "visión nocturna activa", puesto que la observación se lograba únicamente si se apoyaba con iluminación infrarroja, proveniente de algún foco de alta potencia. En la actualidad se les llama "Generación 0", ya que lograban una fotosensibilidad cercana a los 60 uA/lm y su principal falencia, fue que la resolución de la imagen era poco nítida, y se evidenciaba fácilmente ante oponentes con la misma tecnología de observación.

Existen antecedentes que hablan de pruebas experimentales avanzadas por parte de los rusos a fines de la década de los 30´y comienzos de los 40´. Poco se sabe de lo avanzado que se encontraban los estudios de los institutos de investigación rusa, quienes enfocaron su esfuerzo, a petición de la Marina y Fuerza Aérea, en desarrollar dispositivos infrarrojo que permitieran al Ejército Rojo guiar a los buques de guerra en zarpes, recaladas y navegaciones cercanas a costa, y guiar a los aviones en aterrizajes con malas condiciones climáticas. Todo esto durante la "Gran Guerra Patriótica" contra la Alemania Nazi (1941-1945).

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, se consolida el modelo de visor nocturno como lo

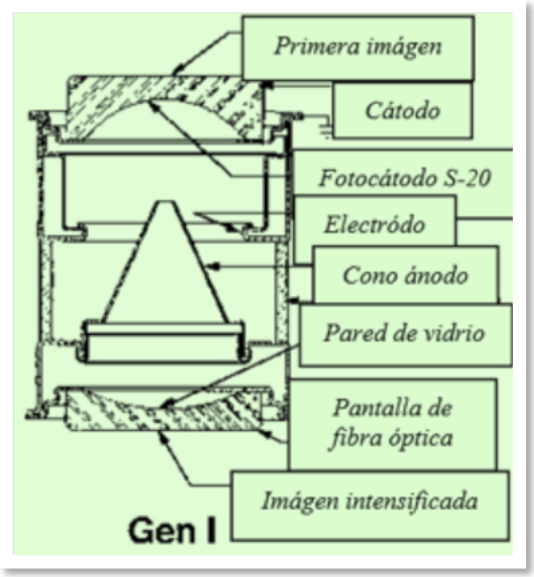


conocemos al día de hoy. Se compone de una carcasa, un conjunto óptico, una fuente de poder y un tubo intensificador. El tubo intensificador representa el motor del sistema, puesto que en él se procesa la energía lumínica captada y se materializa el propósito elemental. Así mismo, es en el tubo en donde se han aplicado los principales avances tecnológicos a lo largo del tiempo.

Los tubos, en términos muy generales, se componen de: Un fotocátodo, el cual transforma energía lumínica en energía eléctrica, y permite la conductividad de electrones (fotoemisión) hacia una pantalla de fósforo. Una placa micro canal (tubos generación II o superior), la cual multiplica hasta en 80.000 veces el flujo de electrones hacia la pantalla de fósforo. Y esta última, sobre la cual se proyectan los fotones emitidos, generando la imagen electrónica observada a través del lente ocular. Los tubos se clasifican en tres generaciones que, si bien en lo básico y funcional son similares, poseen diferencias elementales en su composición.

Generación I

El resultado de la guerra permitió al bloque aliado prolongar el impulso en la carrera de desarrollo, y muchas de las falencias observadas a



este estado de tecnología fueron perfeccionadas y posteriormente evaluadas por EE. UU. durante la guerra con Corea.

Previo a la Guerra de Corea, los norteamericanos experimentaron perfeccionar el rendimiento de los visores nocturnos probando diferentes materiales en el fotocátodo para aumentar la sensibilidad y eficiencia cuántica. Fue AH Sommer, con su fotocátodo de antimonio bialcalino y posteriormente su fotocátodo S20 de multialcalino, descubierto por accidente en el año 1956, quien lograra el desarrollo de equipos con parámetros de sensibilidad infrarroja y amplificación del espectro visible adecuado para uso militar. Esto marcó un punto de inflexión en las operaciones nocturnas, puesto que el rendimiento de los equipos con este nuevo fotocátodo, permitió en ocasiones dispensar de un foco infrarrojo, cuando las condiciones de luz ambiental eran adecuadas, como por ejemplo, una noche despejada con luz de luna llena.

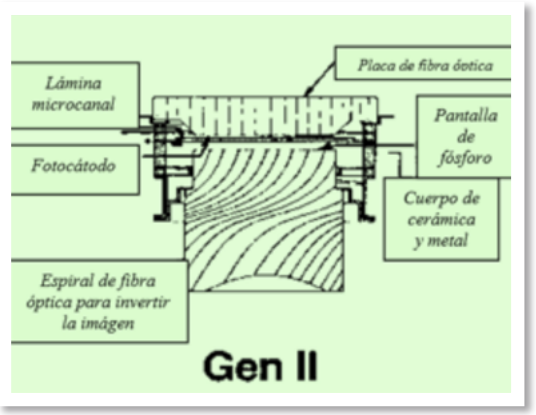
Este tipo de fotocátodo logró una fotosensibilidad levemente inferior a los 200 uA/lm, empleándose principalmente en labores de ingeniería de combate para el levantamiento y desactivación de campos minados en el campo de batalla y tiradores de precisión o francotiradores, los que montados en sus fusiles les permitía detectar movimiento sin mucho detalle o claridad y en el mejor de los casos, a distancias cercanas a los 300 metros.

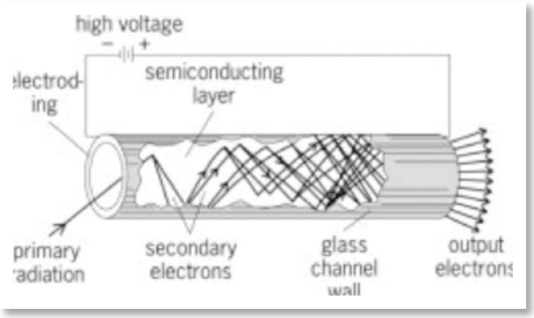
Generación II

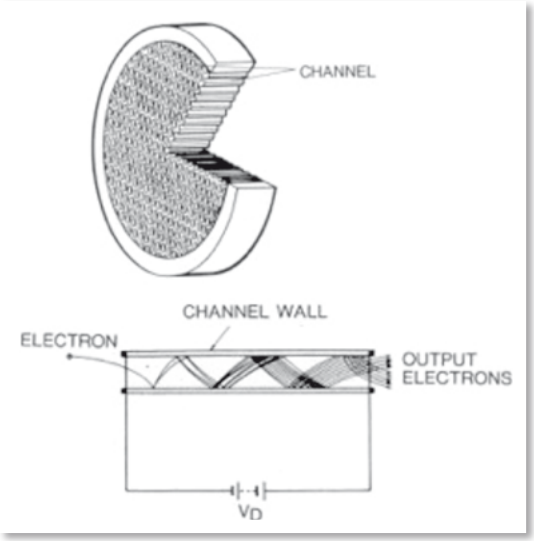
Esta generación, con la inclusión de un multiplicador de electrones, llamado "Placa Micro Canal (PMC)" entre el fotocátodo y la pantalla de fósforo, marcó lo que hasta hoy es el avance más importante de la tecnología de intensificación de imagen en términos de rendimiento. Los electrones, al ser emitidos desde el fotocátodo en dirección a la pantalla de fósforo, atraviesan esta placa de 16 mm de diámetro, constituida por millones de canales con paredes interiores anguladas (más de 6 millones de micro canales) y confeccionada de un cristal procesado a altas temperaturas y de propiedades especiales que permite la multiplicación exponencial de electrones, al rebotar en sus paredes interiores, resultando en una emisión secundaria. A la fecha, la tecnología de desarrollo de la placa micro canal, representa un secreto industrial, y en la mayoría de los casos es de clasificación militar y gubernamental, puesto que gran parte del rendimiento de los equipos de intensificación de imagen, recaen en el proceso de perfeccionamiento del fotocátodo y la PMC. El diámetro de un cabello humano puede llegar a ser equivalente al diámetro de más de 10.000 micro canales de una PMC.

Con la integración de este tipo de multiplicador de electrones, la capacidad de amplificación de la luz varía desde 30.000 a 80.000 veces en aplicaciones militares, pudiendo llegar a amplificarse hasta 1.000.000 de veces. En la actualidad estos tubos logran una fotosensibilidad cercana a los 700 uA/lm.

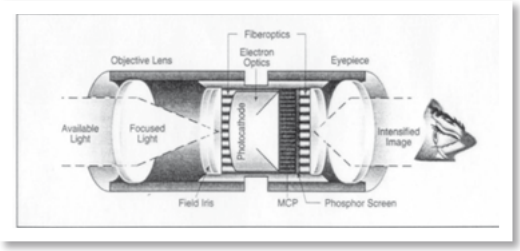
Los primeros sistemas de segunda generación empleados en combate se estrenan en la segunda mitad de la guerra de Vietnam y con el pasar del







tiempo se va perfeccionando la ergonomía de los equipos, haciéndolos cada vez más compactos y livianos, adecuados para el combatiente en situaciones tácticas dinámicas.



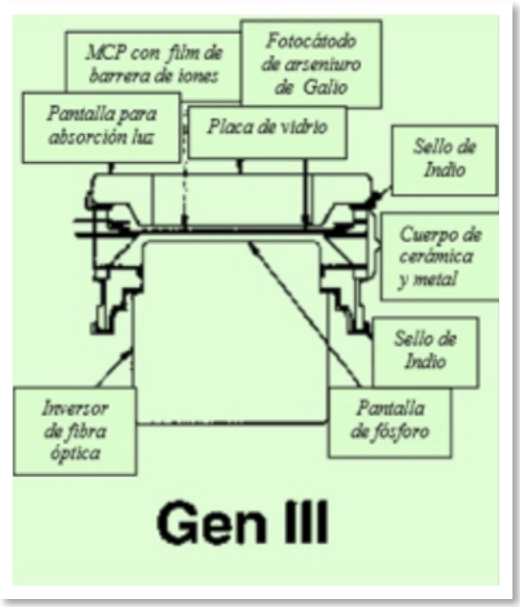
Con esta tecnología, sumado a la mejora en la calidad de los componentes ópticos, la amplificación permitía observar a distancias similares, pero con un notable aumento de resolución y en condiciones de luz limitadas a una noche estrellada sin luna.

Los tubos de segunda generación mantienen el fotocátodo de material multialcalino y se utilizan masivamente en la actualidad. Si bien poseen una disminuida sensibilidad en el fotocátodo respecto a los de tercera generación, actualmente existen restricciones en algunos parámetros de rendimiento en tubos de tercera generación para su exportación, impuestas por los gobiernos fabricantes de la tecnología. Esto mantiene a los tubos de segunda generación vigentes, y los hace una interesante alternativa en el mercado militar actual.

Generación III

La tercera generación de tubos intensificadores centra su diferenciación en el material componente del fotocátodo, para mejorar la conductividad y así aumentar la fotosensibilidad. Aquí se reemplaza el multialcalino por el arseniuro de galio (GaAs), un semiconductor compuesto de galio y arsénico que permite una mayor aceleración de los electrones, desarrollando una mayor ganancia de luz que los tubos de segunda generación y una fotosensibilidad superior a los 1.300 uA/lm, y en algunos casos cercana a los 2.000 uA/lm.

Sin embargo, el excesivo volumen de electrones en el flujo conductor generó un inconveniente que debió ser solucionado, y si bien no es de conocimiento público, y sólo se encuentra en alguna referencia bibliográfica técnica de dominio de los fabricantes, quien domina la tecnología podría llegar a deducirlo. Esto es, que el flujo excesivo de electrones sobre la PMC, si bien permite una mayor ganancia, genera un importante incremento en el Factor Ruido, determinado en parte por el efecto "rebote" de electrones sobre la superficie entre microcanales de la PMC.



Dicho efecto genera una serie de fenómenos negativos en el rendimiento, como aumento en el diámetro del halo alrededor de luces y disminución de la vida útil del tubo, ya que el rebote de electrones impacta nuevamente en el fotocátodo, dañándolo con el uso y el tiempo. Para solucionar este problema, en primer lugar, se debió aumentar el número de microcanales, para reducir la superficie de rebote, sin llegar a comprometer la resistencia estructural de la placa, y posteriormente angular los bordes de entrada de los mismos, para incidir en la dirección del rebote y captar más electrones. Adicionalmente se agregó una barrera de iones entre el fotocátodo y la PMC con el objeto de retener los electrones que rebotaban. Esto tuvo un efecto positivo en términos de vida útil, ya que protegía al fotocátodo, disminuyendo a la vez el rendimiento del equipo en un porcentaje cercano al 20% en relación al tubo sin barrera de iones.

Estos tubos fueron empleados a comienzos de la década pasada en la reciente invasión a Irak y Afganistán. Con el tiempo los desarrolladores de la tecnología encontraron la forma de disminuir el grosor de la barrera de iones e incluso dispensar de ella, mediante la regulación de la conductividad del fotocátodo, sin afectar mayormente la vida útil del tubo.

Actualmente la tercera generación de tubos desarrolla parámetros de rendimientos superiores a los de segunda generación. Sin embargo, dichos parámetros de rendimiento no son accesibles por nuestras FF.AA., puesto que como Estado de Chile, estamos sometidos a restricciones gubernamentales[5] por parte del país desarrollador de la tecnología, quienes nos clasifican en el tercero de tres grados de permisividad de exportación,

por lo que actualmente los tubos de tercera generación importables por Chile, no superan muchos de los parámetros de rendimiento de un tubo de segunda generación, y dichos parámetros deben ser claramente identificados en el marco de procesos de adquisición en la actualidad.

También en los últimos 15 años, tanto en segunda como en tercera generación, se ha experimentado con diferentes tipos de fósforo en las pantallas, dándole una mayor variedad de opciones al usuario. Se han efectuado estudios[6] relacionados con la eficacia de cada uno, y si bien no arroja importantes diferencias al respecto, se ha logrado determinar que existe una tendencia, por parte de los usuarios, a preferir el fósforo blanco (P45). Otra diferencia técnica entre el fósforo P22 y P43, es la fotoconductividad.

5. Restricciones ITAR (International Traffic in Arms Regulations). Part 120.10.
6. Grayson V., Merrit J., Bender E., Wright-Hector L. (2000) "Object recognition and contrast sensivity with image intensification employing with phosphor versus green phosphor displays".

Aparentemente el fósforo P43, presenta una mayor sensibilidad, y por ende, podría ser más efectivo en cuanto al desarrollo de la imagen electrónica a altas velocidades, adecuado para pilotos de helicóptero, conductores de vehículos o cualquier tipo de observación desde o hacia elementos en desplazamiento a altas velocidades.

Aplicación actual

En el caso de los visores nocturnos, es recomendable no confundirse con la terminología "generacional". Las generaciones de los diferentes tipos de tubos de intensificación de imagen, obedece a un tipo determinado de tecnología funcional, y el rendimiento del sistema no está determinado sólo por el tipo de generación, sino más bien a la integración de una serie de parámetros de rendimiento y factores externos, entre los que se destacan, las condiciones de luz residual ambiente y el tipo de entorno físico en el que se esté operando. Por ejemplo, un visor de tercera generación (tecnología norteamericana, que emplea un fotocátodo de arseniuro de galio AsGa de mayor conductividad de fotones) posee mayor sensibilidad, y por ende, el volumen de energía eléctrica que ingresa al tubo será mayor. Esto incide en una serie de parámetros de rendimiento, como por ejemplo, la relación señal/ruido. Este parámetro permite una mayor capacidad de resolución de contornos a baja luz ambiente, lo que es ideal para entornos excesivamente oscuros, con escasa luz residual y abundantes contornos por resolver, como selvas, bosques frondosos, y zonas urbanas sin luz. Sin embargo, cuando los parámetros de rendimiento, sobre los cuales incide la sensibilidad del fotocátodo se ven restringidos de manera intencional por el fabricante, el rendimiento del sistema como un todo, amerita ser evaluado, independiente de la generación del tubo que porte.

En el caso específico del norte de nuestro país, zona desértica, en donde los contornos geográficos son escasos y planos, con pocos obstáculos que dificulten la captación de la luz residual, los tubos de segunda generación obtienen similar y en algunos casos mejor rendimiento que los de tercera generación "restringidos", diferencias que se podrían acentuar a medida que disminuye la cantidad de luz residual en el ambiente.

La configuración del entorno geográfico juega un papel preponderante en el rendimiento de los equipos. Muchas veces, en el marco de procesos de adquisición, nos enfocamos en algunos parámetros de rendimiento del sistema, y no analizamos el impacto que tiene sobre ello la caracterización del lugar geográfico en donde se pretenden emplear.

Los diferentes entornos geográficos, para efecto de la intensificación de imagen, se traducen en una serie de patrones a definir y sobre los cuales el sistema deberá exigirse para lograr su reproducción. En otras palabras, una selva presenta condiciones totalmente opuestas al desierto en cuanto a contornos y disponibilidad de luz residual, por lo que son muchos los parámetros de rendimiento de un tubo que se deben analizar en función de la geografía en donde se pretenda emplear.

La Figura de Mérito (FOM), es uno de los principales parámetros de rendimiento del tubo, y corresponde al producto entre la resolución del tubo (lp/mm) y la señal/ruido. En este sentido, es sabido que los tubos de tercera generación, de fabricación norteamericana, poseen una mayor sensibilidad y por ende una mayor ganancia, lo que incide en la resolución y señal/ruido del tubo. Durante mucho tiempo, y hasta mediados del año 2014, el FOM de tubos norteamericanos se encontraba restringido a un máximo de 1.400, para ser exportados a las FF.AA. de Chile. Esto impedía alcanzar los valores mínimos recomendables para acciones tácticas en la actualidad. En el caso de la resolución de imagen, normalmente se determina en 64 lp/mm y en el caso de la señal/ruido, considerando que, independiente de si se use o no, es un parámetro que en el tiempo sufre una degradación congénita inevitable. Para esto se recomienda dejarlo en un valor no menor a 25, todo lo cual fija un FOM mínimo recomendable de 1.600.

Asimismo, el sistema de protección y control de voltaje del fotocátodo, llamado "Auto-Gating", permite regular el volumen de ingreso de fotones, permitiendo al equipo trabajar en ambientes de excesivas fuentes dinámicas de luz, como una zona urbana, y que eventualmente, sin este sistema, saturarían la imagen por exceso de electrones. Este sistema también se encontraba restringido hasta hace poco por parte de la industria de defensa norteamericana hacia Chile.

Sin embargo, estos dos parámetros incidentes en el rendimiento del equipo, fueron levantados de restricción por el Departamento de Defensa del Gobierno de los EE. UU. Esto último, concretado en el mes de agosto recién pasado, permite importar visores nocturnos con tubos de intensificación de imagen con un FOM de hasta 1.600 y Auto-Gating integrado.

Otros parámetros, restringidos por la industria norteamericana, y de vital importancia a la hora de evaluar, son el diámetro del Halo (tipo de "Blooming" generado en el contorno de fuentes luminosas y que entorpece la visión), y la Función de Transferencia Modular (parámetro que define la capacidad del tubo de definir los contrastes entre diferentes objetos de la imagen).

Ejemplo de un Halo excesivo (sobre 1,0 mm de diámetro). El gobierno de los EE. UU. prohíbe a sus empresas exportar a Chile, tubos que generen Halo menor a 1,0 mm.

La evolución de tecnologías y procedimientos, empleados en las actuales acciones tácticas aplicadas en el marco de operaciones de guerra y de no guerra, tienden a explotar la sorpresa e incertidumbre del oponente, y a reducir el daño colateral mediante su ejecución en horas de oscuridad. La confiabilidad y nivel de desarrollo que ha alcanzado en la actualidad la tecnología de intensificación de imagen, permiten avalar el concepto popular de "adueñarse de la noche", y lograr niveles de coordinación y sincronización similares a las posibles en horas diurnas.

Las herramientas electro ópticas, en apoyo a la ejecución de este tipo de operaciones, requiere en la actualidad de una familiarización y adaptación óptima por parte del usuario, en respuesta a un acabado y extenso entrenamiento, siendo ésta, la única vía para explotar las verdaderas capacidades de cada equipo. Independiente de ello, se debe tener presente que nuestro cerebro nunca dejará de percibir la noche como un entorno ajeno a nuestra esencia, y la forma más práctica de mitigar dicha percepción, es la constante iteración del entrenamiento.

La utilización de la tecnología de intensificadores de imagen ha permitido, entre otras cosas, reducir los índices de fratricidio y daño colateral a civiles en conflictos armados, pudiendo aportar su empleo bien explotado ventajas importantes a un bando específico. Dos décadas después, en nuestro país, se está materializando una masificación de esta tecnología en el ámbito de defensa y seguridad, siendo de vital importancia la asimilación de las virtudes que aporta, en caso de ser correctamente seleccionada y empleada. Sin duda, es un desafío para las FF.AA., como principales usuarios y beneficiados de la tecnología, lograr consolidar el dominio intelectual sobre la materia, que permita discriminar con certeza las opciones adecuadas para el cumplimiento de nuestras funciones.

* * *

BIBLIOGRAFÍA

1. *Image Tubes (The Howard W. Sams Engineering-Reference Book Series), by Illes P. Csorba.*
2. *Rawls, James W., "Lasers: The Battlefield tools of tomorrow are here". Julio 1989, Defense Electronics.*
3. *Germán Sosa Montenegro. La Luz, Onda Electromagnética (2012).*
4. *Chapter 1, "Early Low-Light-Level and Electron-Beam Technologies", 1930–1945.*
5. *José Fº González, La Flor, 29 de enero del 2010. Aplicación de los sistemas de visión nocturna en la navegación marítima y la seguridad en la mar.*
6. *Lic. Salvador Daniel Patti. Equipos o dispositivos de Visión Nocturna (EVN).*
7. *Microchannel plate (MCP) detectors, Experimental Atomic Physics at the Goethe-Universitat Frankfurt. http://www.atom.uni-frankfurt.de/research/coltrims/mcp/.*
8. *Grayson V., Merrit J., Bender E., Wright-Hector L. (2000) "Object recognition and contrast sensivity with image intensification employing with phosphor versus green phosphor displays".*