



Mediante un acotado análisis de los procesos de mantenimiento institucionales para los sistemas acorazados y correlacionándolos respecto de la metodología de RCM, se puede concluir que la estrategia adoptada en términos generales obedece a un planteamiento de una estructura de mantenimiento basada en la temporalidad de la ejecución de acciones de mantenimiento y no respecto de otras acciones más específicas como las que sugiere RCM.

Si bien es cierto, que se ha indicado que es en teoría posible la aplicación de RCM en el ámbito institucional, es necesario establecer y determinar la organización, los recursos humanos disponibles de la forma más conveniente y acertada, para la definición y configuración de los "grupos de expertos", quienes son por naturaleza de esta metodología, los que podrán hacer la diferencia en la aplicación de esta herramienta dentro de la institución.

## La importancia de la relación señal de ruido en la adquisición de un equipo de visión nocturna.

### Resumen



La visión nocturna en la guerra moderna tiene aplicaciones, desde su uso en tropas a pie, fuerzas especiales, aeronaves tripuladas y no tripuladas y en acciones navales, por lo que con el tiempo la visión nocturna se ha incorporado de tal forma que ha podido transformar la noche en día.

### Bibliografía

Handbook Military Standard 2173 - Enero 1986, Manuales de John Moubray - ALADON, Revista Ibérica, 2007.

FAP 2000 Instructions for use with Autopilots.

Definido por el RDL 20003 "Reglamento de Mantenimiento" como un estado que sigue el objetivo de conservar las capacidades técnicas del material y equipos durante el período de su vida útil, por la necesidad de asegurar el eficiente funcionamiento de los sistemas de armas y equipos que utiliza la fuerza.

Aplicación del RCM en motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina, tesis de título Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela Ingeniería Civil Mecánica.

MAY. (IPM) Rodrigo Andrés Baker Weiss, Ingeniero en Sistemas de Armas, mención Comunicaciones. Magister en "Gestión Estratégica de Organizaciones". Sr. Carlos González González, IDIC, Técnico Electrónico, Universidad Federico Santa María.

En lo que respecta a la definición de un equipo de visión nocturna, uno de los factores que cobra relevancia debido a las tecnologías existentes es el tipo del fotocátodo con el cual está construido el tubo intensificador, elemento que permite transformar la poca luz del entorno en electrones, ya sea por medio de un fotocátodo de arseniuro de galio o uno multicalcino, dado que ambos cumplen



una misma función pero de diferente forma, lo cual hace imposible su comparación al momento de definir qué equipos cumplen con aquellas prestaciones que se requiere para la tropa.

En el presente trabajo serán presentados los parámetros que influyen al momento de definir qué características deben ser consideradas y evaluadas cuando se debe elegir el correcto visor nocturno para la tropa, centrando el análisis en la relación señal de ruido.

## Abstract

Night vision has many applications in modern war, it can be used by land, naval and an air troop, that's the reason way with the incorporation of night vision, could transform night into day.

When we would like to determinate which equipment of night vision is the ideal for our troops, photocathodes are one of the factors that we have to analyze due the different technologies of how manufactures build it inside a night vision tube, it aloud to transform light into electrons, due an arseniuro of galio or multi/alkaline photocathodes, both do the same functionality but in a different way, now because works different it is impossible to compare directly from equipment to equipment.

Here we will present what are the most important parameters in order to be able define the right night vision goggle for troops centered on signal to noise characteristics.

## Introducción

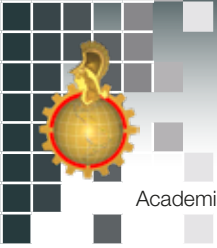
La visión nocturna inicia su desarrollo a finales de la década de los treinta a nivel

de laboratorio y es introducida al campo militar en el período de la Segunda Guerra Mundial. Los primeros desarrollos operaban en la banda del cercano infrarrojo y se requería de un pequeño emisor infrarrojo como fuente de luz.

Al inicio de la sexta década del siglo veinte, se desarrollan los primeros visores nocturnos pasivos (no requieren un iluminador). A estos equipos, se les denominó primera generación, sin embargo presentaban importantes limitaciones, por su alto consumo eléctrico, gran tamaño, bajo nivel de la relación señal a ruido, baja resolución y alta distorsión, resultado del acoplamiento de múltiples etapas, necesarias para lograr la ganancia requerida.

Durante la década de los setenta se desarrolla la placa de microcanal, lo que permite eliminar las múltiples etapas de amplificación y alcanzar altas ganancias, mejorando notablemente los parámetros indicados anteriormente e incrementando positivamente la vida útil de los tubos. Por otra parte se reduce el tamaño y peso de los equipos haciéndoles más cómodos y transportables.

A principio de los años ochenta se desarrolla la tercera generación de tubos intensificadores de imagen, que básicamente difieren de la generación anterior, por el remplazo del fotocátodo de compuestos alcalinos, por un nuevo fotocátodo en base a arseniuro de galio y paralelamente se mejora la placa de microcanal mediante el empleo de nuevos materiales y procesos de fabricación, lo que redundo en una mayor eficiencia y una mejora sustancial de todos los parámetros de los tubos.



## Arquitectura típica de los visores nocturnos actuales

La arquitectura de los actuales visores nocturnos está constituida por una lente objetivo, un tubo intensificador de imagen, un ocular, todo montado en un contenedor adecuado que además incluye un compartimento para las baterías, un alojamiento donde se ubica la tarjeta electrónica de control, el interruptor y otros componentes y accesorios de acuerdo a las funciones adicionales que puede realizar cada modelo en particular. El tubo por su parte, cuenta con un cátodo de materiales alcalinos o arseniuro de galio, según sea el tubo de segunda o tercera generación, además internamente el tubo cuenta con una placa de microcanal y una pantalla de fósforo, donde se hace visible la imagen con mayor intensidad lumínica. Todas las partes que constituyen el tubo se encuentran al interior de una ampolla de vidrio al vacío.

tudes de onda que son de interés para esta aplicación. Gran parte de los fotones de la fuente de luz que chocan con los cuerpos a observar, rebotan en las superficies de los mismos y parte de los fotones llegan a la lente objetivo, por medio de la cual son debidamente enfocados, formando la imagen sobre el fotocátodo del tubo intensificador. El impacto de los fotones sobre el fotocátodo genera la liberación de electrones como consecuencia del efecto fotoeléctrico, es decir, la energía del fotón al impactar un átomo incrementa la energía de un electrón de la última órbita del átomo permitiendo que este salte a un nivel de mayor energía, al no existir este nuevo nivel en el átomo, el electrón queda fuera de él, estableciéndose como electrón libre y formando una nube espacial de electrones. Este electrón libre es atraído por la placa de microcanal, por efecto del campo eléctrico que la polariza.



Figura N° 1: Presentación de Photonic, fabricante de tubos de intensificador nocturno.

## Funcionamiento de un visor nocturno típico

La luz ambiente nocturna, cuya fuente por lo regular son las estrellas, es de naturaleza difusa y de baja intensidad y cubre la totalidad del espectro electromagnético de la luz visible y del infrarrojo cercano, longi-

La placa microcanal a su vez, está constituida por pequeños cilindros huecos, estos cilindros tienen una gran resistencia eléctrica entre sus extremos longitudinales, característica que posibilita establecer una gran diferencia de voltaje entre sus extremos, por tanto, al polarizar dichos cilindros con elevados voltajes (4.000 voltios), se establece una gradiente de potencial al interior del microtubo, que podemos imaginar como una sucesión de pequeños anillos, en que el voltaje del segundo anillo será superior al primer anillo, el tercer anillo tendrá un voltaje superior al segundo anillo y así sucesivamente hasta el último.

Una segunda característica de los cilindros de la placa de microcanal, es que el material con que están construidos tiene una baja función electrón/voltio, es decir, que requieren una





baja energía de impacto de un electrón para generar uno o más electrones libres, los que a su vez serán acelerados por el potencial del siguiente anillo, generando cada vez que más electrones impacten las paredes del microcanal, proceso que se repetirá a lo largo del microtubo, hasta que por efecto de la inercia y la gran velocidad adquirida, los electrones abandonen la placa microcanal, para luego impactar la película de fósforo que constituye la pantalla, en un número enormemente mayor de electrones que el que generó originalmente el fotocátodo, para un mismo punto relativo de la imagen.

En la pantalla de fósforo se produce el fenómeno inverso que en el fotocátodo. Cada electrón al impactar un átomo de fósforo hace saltar un electrón de una órbita a la siguiente de mayor energía por efecto del choque, luego el electrón que está ahora en un nivel de mayor energía volverá a su órbita para lo cual debe liberar un cuanto de energía y esto lo hará emitiendo una radiación electromagnética que resultará en un fotón, producto del comportamiento dual de la luz.

Finalmente, los fotones emitidos por la pantalla de fósforo serán enfocados adecuadamente mediante un ocular constituido por lentes, para hacer llegar la imagen intensificada en luz, al ojo del usuario.

Es importante notar que el tubo intensificador de imagen, en su exterior, cuenta con un sistema que lo polariza y entrega de dos a cinco kilovoltios a partir del voltaje entregado por las pilas de alimentación, esta tensión es aplicada a los electrodos de los extremos de la placa microcanal, para producir el efecto de multiplicación de electrones, lo que dará por consecuencia la ganancia de luz.

## Variables de interés que intervienen en el proceso de la visión nocturna

### A. Factor de similitud (*matching factor*)

El factor de similitud está dado por la intersección de las respuestas del fotocátodo y las condiciones de bajo nivel de luz de acuerdo a lo que se describe a continuación:

La respuesta del fotocátodo a las distintas longitudes de onda de la luz, es decir, la corriente que genera el fotocátodo por unidad de superficie al ser sometido a la luz de distintas longitudes de onda de igual magnitud, en el espectro de longitudes de ondas que van desde el cercano infrarrojo hasta los violetas del espectro visible y que corresponden a longitudes de onda desde aproximadamente los 1.000 hasta los 300 nanómetros, que es el rango de longitudes de ondas de interés para esta aplicación. Para realizar la medición se somete al cátodo a una intensidad lumínica normalizada y se mide la corriente generada por dicho cátodo para cada longitud de onda, generando así los valores que permiten graficar y obtener la curva de respuesta espectral de cátodo  $[R(\lambda)]$ .

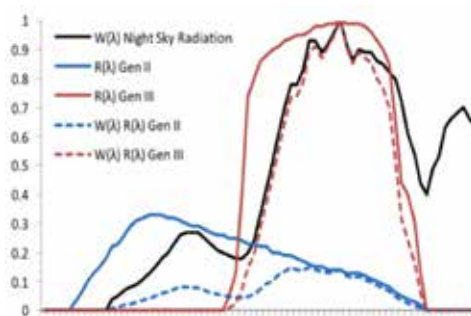


Figura N° 2: Curva de respuesta espectral de cátodo.

Un segundo elemento a considerar es la distribución espectral de la luz del cielo durante

la noche, radiación que será la fuente de luz que permitirá proveer la energía necesaria para que se forme la imagen en el fotocátodo del tubo. Se medirá la intensidad de luz disponible para cada longitud de onda, con lo que se graficará y se obtendrá la curva de la fuente espectral relativa  $[W(\lambda)]$ .

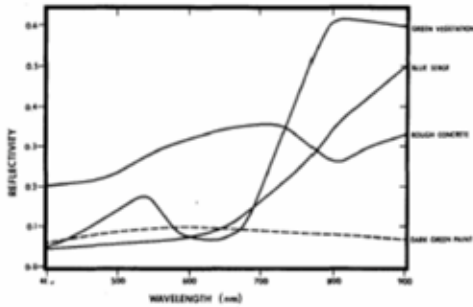


Figura N° 3: Curva de la fuente espectral relativa.

Ahora si tomamos el área bajo la curva, resultado del producto del área bajo la curva de la fuente espectral relativa  $W(\lambda)$  y el área bajo la curva de la respuesta espectral del fotocátodo, respecto al área bajo la curva de la fuente espectral relativa tendremos el factor de similitud ( $M$ ).

Donde matemáticamente se expresa como sigue:

$$M = \frac{\int_0^{\infty} W(\lambda) R(\lambda) d(\lambda)}{\int_0^{\infty} W(\lambda) d(\lambda)}$$

De lo anterior se ha obtenido el factor de similitud que nos permite objetivamente comparar el funcionamiento de dos fotocátodos de diferente manufactura. A modo de ejemplo, podemos indicar que el valor típico del factor de similitud, para los tubos de segunda generación es de 0.13, mientras que, para los tubos de tercera generación dicho factor es de 0.61.

Esta relación también permite la comparación en sectores espectrales más pequeños contenidos en el ancho de banda considerada. Es de interés por ejemplo analizar el comportamiento de estos elementos en zona espectral correspondiente al cercano infrarrojo, debido a la alta reflectividad que presentan los vegetales verdes a dicho espectro lumínico. Aquí encontraremos diferencias interesantes entre la segunda y tercera generación de tubos, tal es así que el *factor de similitud* ( $M$ ) para los tubos de segunda generación es del orden de 0.14, mientras para la tercera generación se encuentra alrededor de 0.67.

De lo observado en este parámetro podemos rápidamente deducir la ventaja de la tercera generación en zonas de alta vegetación y la baja incidencia que último efecto tendrá en una zona desértica.

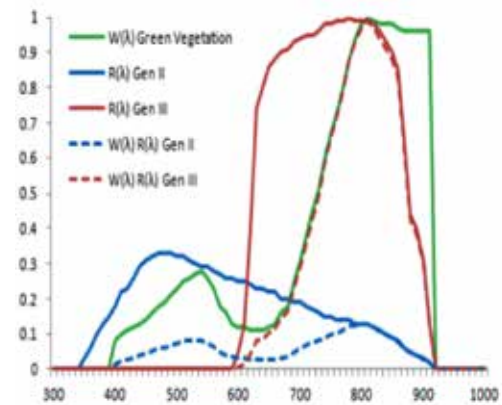


Figura N° 4: Curva de respuesta espectral de cátodo en zonas de alta vegetación.

### B. Relación señal a ruido en un tubo intensificador de imagen.

Como primera consideración, estableceremos que el ruido en una imagen es la presencia de elementos que no pertenecen a ella y se



hacen muy notables al observador de una pantalla de televisión, cuando no hay señal o esta es muy débil y comparable en nivel al ruido, el caso más típico es observable en un televisor. Si se enciende un televisor y no se sintoniza un canal, veremos un enjambre de puntos blancos y negros en permanente movimiento. Sin embargo a medida que sintonizamos estaciones cada vez más poderosas se irá haciendo cada vez más tenue el efecto del ruido hasta desaparecer a nuestra vista. Como se observa a medida que crece la señal y el ruido se mantiene constante, crece por tanto la relación entre la señal y el ruido, mejorando muy notoriamente la limpieza y calidad de la imagen. De lo anterior deriva la necesidad de buscar una alta relación señal a ruido, ya que el ruido es omnipresente en los equipos electrónicos y tiende a incrementarse al aumentar la temperatura ambiente y por tanto la temperatura del equipo.

En el caso que nos ocupa, la relación señal a ruido en el fotocátodo del tubo está determinada por las fluctuaciones estadísticas del número de fotones detectados por el fotocátodo en una unidad de tiempo dado, para hacer una evaluación objetiva se puede establecer que el límite de ruido inferior corresponde al ruido de un fotón al impactar el cátodo. Como el ruido es una condición inherente al tubo, lo trascendente será alcanzar la máxima señal posible de manera que esta se superponga al ruido y como el efecto del ruido sobre la señal se hará cada vez menos notable en la medida que la señal crezca, de allí la necesidad de buscar la mayor relación de señal a ruido.

En el análisis que hacen los fabricantes de los tubos establecen que la relación señal a ruido depende de los siguientes factores:

- Iluminación de la escena, por tanto, la cantidad de luz que llega al tubo intensificador de imagen. Se le designa "E" y su unidad de medida es el lux (lux).
- Área del fotocátodo efectivamente a la luz, se designa con la letra "A" y su unidad de medida es el metro cuadrado (m<sup>2</sup>).
- La sensibilidad del fotocátodo, que es la cantidad de electrones generados por lux, se designa con la letra "S" y su unidad de medida es amperes por lux (A/lm).
- El tiempo de recolección o integración de la luz que se designa como t<sub>i</sub>, siendo su unidad de medida el segundo (s).
- La carga elemental correspondiente a un electrón, cuyo valor es culombios, que se denomina con la letra "e" y su unidad de medida es el culombio.
- El factor de ruido del tubo, el cual es determinado aplicando luz blanca, en el rango dinámico y se le designa con la letra "F", es una variable adimensional.

A partir de las variables anteriores se puede calcular la relación señal a ruido (SNR) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$SNR = \sqrt{\frac{AEST_i}{eF}}$$

Dónde:

- E = Iluminación de entrada (lux)
- A = Área de interés (m<sup>2</sup>)
- S = Sensibilidad del fotocátodo (A/lm)
- t<sub>i</sub> = tiempo de integración (s)
- e = carga del elemento (16E-19C)
- F = factor de ruido





Es importante hacer notar que cuanto más alta sea la sensibilidad del fotocátodo, mayor será la relación señal a ruido del tubo intensificador de imagen, como consecuencia que para una misma imagen y cantidad de luz se obtendrá una mayor señal.

### C. Tamaño mínimo de un objeto detectable

Si un objeto en un cuadro de imagen se proyecta sobre un fotocátodo, la imagen tendrá una dimensión  $X$  y generará una señal de fotoelectrones con un nivel de contraste  $C$ , luego el tamaño mínimo de un objeto para ser detectable está dado por la siguiente ecuación:

$$X \geq \frac{Kr}{C T(\frac{1}{2A})} \sqrt{\frac{2e Be F}{\emptyset \Sigma}}$$

Dónde:

$Kr$  = Es una constante que depende del ojo del observador.

$T(\frac{1}{2A})$  = Es el factor de modulación de transferencia.

$C$  = Nivel de contraste.

$A$  = Área de Interés ( $m^2$ ).

$e$  = Corresponde a la carga del electrón en culombios.

$Be$  = Representa el ancho de banda equivalente del ruido del tubo, que para estos efectos se considera 10 Hz.

$F$  = Es el factor de potencia del ruido de la placa microcanal/ruido de la pantalla de fósforo.

$\emptyset$  = Flujo luminoso en el fotocátodo.

$\Sigma$  = Sensibilidad luminosa del fotocátodo en Amperes/lumen.

De lo anterior se puede observar que para una luminosidad dada del fotocátodo, las variables de los tubos más importantes son:

1. La sensibilidad luminosa del fotocátodo.
2. El factor de ruido combinado, producido por la placa microcanal y la pantalla de fósforo.
3. La función de transferencia de modulación del tubo intensificador de imagen.

*Nota:*

*Cuanto mayor es el valor de la sensibilidad del fotocátodo, más pequeño es el objeto detectable, sin embargo la sensibilidad de los tubos que utilizan barrera de iones se ve disminuida por efecto de la barrera y es un elemento que debe ser considerado al momento de buscar altas sensibilidades de los fotocátodos.*

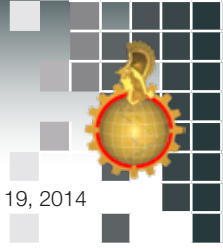
### D. Resolución de campo

La vista humana es dependiente de la cantidad de luz para ver completamente una imagen, incluido detalles como el color, tal es así, que al disminuir la cantidad de luz nuestra vista primeramente pierde capacidad de ver detalles, con niveles de luz más bajos ya no es posible distinguir colores, al reducir más aún el nivel de luz, perdemos la habilidad de distinguir las formas y solo vemos bultos o manchas, y a menores flujos lumínicos dejamos de ver.

#### FLUJOS LUMÍNICOS (lux)

Luz solar plena	100.000	lux
Crepúsculo	1	lux
Luna llena	0,1	lux
Cuarto de luna	0,01	lux
Luz de las estrellas cielo despejado	0,001	lux
Luz de las estrellas cielo nublado	0,0001	lux
Luz de estrellas cielo nublado denso	0,00001	lux

A objeto de corregir nuestras deficiencias visuales en los bajos niveles de iluminación



se desarrolló la visión nocturna. Los tubos intensificadores de imágenes nos devuelven parcialmente la capacidad de ver detalles finos de los objetos a bajos niveles de luz ambiente (luminancia de campo).

La visión nocturna posee limitaciones e interacciones importantes que afectan la visibilidad y que ocurren tanto al interior del tubo intensificador de imagen y en el ojo humano, las más destacables son:

- 1) La variación estadística de la corriente de cátodo del tubo intensificador de imagen.
- 2) La sensibilidad de contraste del ojo, en el espectro de la frecuencia espacial útil.
- 3) La función de transferencia de contraste del tubo intensificador de imagen.

Cuando una grilla de ondas cuadradas es observada mediante un intensificador de imagen, la Resolución de Campo (Rf), como una función de la luminancia de campo y del contraste de campo, entonces Rf, será expresada por la siguiente ecuación:

$$Rf = \frac{2,79 \times 10^{11} r \sqrt{2} \times Cf \times Ci}{K \times Nf \times D \sqrt{1 + Cf \times Ci}} \sqrt{E \times S \times t}$$

Dónde:

- Nf Figura de ruido del tubo intensificador
- D Distancia al objetivo
- Cf Contraste de campo
- Ci Función de transferencia del contraste
- E Luminancia del campo (L)
- S Sensibilidad del fotocátodo (A/Im)
- t Tiempo de almacenamiento (s)
- r Radio de la abertura del objetivo (pulgada)
- K SNR con un valor para reconocimiento de patrones de 3.1, para un coeficiente de longitud de línea a anchura de 5:1

La ecuación anterior, función de transferencia de contraste, del intensificador de imagen (Ci), corresponde a una modelación matemática de la señal de entrada y salida, y la función de transferencia, corresponde a una función por transformada de Laplace en que la salida está en función de la entrada constante.

Diferencia relativa entre un punto y su entorno mínimo contraste 0.3%.

### Luminiscencia

Luminiscencia, es la densidad angular y superficial de un flujo luminoso que incide o emerge de una superficie en una dirección determinada.

Lv = mita o candela/m<sup>2</sup>

F = flujo lumínico en Lumen

### Factor de Ruido:

Es la relación entre el valor de la relación de la señal a ruido de la entrada del sistema respecto a la relación señal a ruido de la salida.

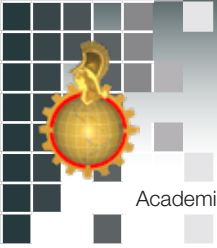
### E. Ganancia de luminosidad del tubo

Su definición es muy simple, es la cantidad de veces que la imagen en la pantalla del tubo es mayor que la imagen que llegó originalmente al fotocátodo.

Esto se obtiene básicamente, primero, por la conversión de fotones en electrones; posteriormente los electrones se aceleran en la placa microcanal, donde se multiplica su número por el efecto de emisión secundaria que se genera en las paredes de los cilindros que conforman la placa microcanal para finalmente, transformar el mayor universo







de electrones en fotones, al impactar estos últimos, la pantalla de fósforo, generando una imagen muy luminosa.

La multiplicación de electrones que se logra en la placa microcanal representa la mayor parte de la ganancia del tubo intensificador de imagen.

$$Ganancia = \frac{Flujoluminicodesalida (L)}{Flujoluminicodeentrada (E)}$$

También se puede expresar en función de otros parámetros, de la forma siguiente

$$Ganancia = S \times G_m \times V_s \times n_s$$

Dónde:

- S Sensibilidad del fotocátodo en A/lumen.
- G<sub>m</sub> Ganancia de la placa microcanal, es decir, cual es la multiplicación de electrones que se produce en dicha placa, luego estamos hablando de ganancia de corriente.
- V<sub>s</sub> Tensión del haz de electrones en voltios.
- n<sub>s</sub> Eficacia o rendimiento luminoso de la pantalla de fósforo que es relevante.

Por otra parte podemos hablar de la ganancia del tubo y de la ganancia como sistema, en el primer caso la ganancia se establece como el número de veces que se amplifica la luz de entrada (cátodo) en la pantalla (de fósforo) y se calcula como:

1X = Magnificación óptica en el tubo

Las ganancias típicas oscilan entre los 1.500 y 22.000 cd/m<sup>2</sup>/lux

1 cd/m<sup>2</sup>/lx = 3013 fl/fc (pie lambert / pie candel)

En un equipo electroóptico, la ganancia del tubo normalmente se ve fuertemente reducida por efecto de la calidad de las lentes y filtros ópticos, por lo que la ganancia es un parámetro muy importante al escoger un intensificador de imagen. La ganancia del tubo normalmente es aproximadamente 10 veces mayor que la ganancia del sistema.

La ganancia del sistema se expresa normalmente en *lumen/lumen (fL/fL)* y la ganancia del tubo en *cd/m<sup>2</sup>/lx (fL/fC)*.

La medición de la ganancia se realiza en la zona lineal de su rango de operación (dinámico) del tubo, empleando una fuente lumínica variable y medidor de luminancia, calibrados. La fuente lumínica a usar debe tener una temperatura de color de 2856 °K, con el fin de simular el espectro nocturno.

Para los binoculares se debe considerar la ganancia de ambos tubos similares a objeto de lograr un mejor efecto estereoscópico.

En laboratorio, la ganancia de luminosidad para un tubo se logra determinar midiendo la luminosidad incidente al cátodo, mediante un detector calibrado a la temperatura de color correspondiente a 2856 °K, simulando el espectro nocturno, para esta misma iluminación del cátodo se mide la iluminancia de la pantalla. Luego hacemos el cociente entre la iluminación medida en pantalla y la iluminación incidente en el fotocátodo, con lo que obtenemos el valor de la ganancia, para realizar esta medición se recomienda que el valor de la luz incidente este sobre el valor de corte y bajo el valor de saturación del tubo, es decir, en su rango dinámico.





## Variables de interés que intervienen en el proceso de la visión nocturna

### Fotocátodos

El fotocátodo es el elemento fundamental para el funcionamiento de un tubo intensificador de imagen, ya que es el elemento que permite convertir los fotones constituyentes de la luz en electrones, los que serán debidamente manejados para obtener el resultado esperado.

### Sensibilidad del fotocátodo

La sensibilidad del fotocátodo se determina mediante su exposición a un flujo de luz conocido y la medición del cambio de la corriente que este genera, por efecto del cambio de intensidad de la luz sobre el mismo.

En el mercado de la visión nocturna existen dos tipos principales de fotocátodos según los materiales con que se construyen, los multicalinos y los de arseniuro de galio, ambos son compuestos químicos que al ser impactados por lo que tendrá una duración de 2 años s fotones (que constituyen el flujo de luz) provocan la emisión de electrones, transformando así un flujo de luz en corriente eléctrica.

Como consecuencia de la diferencia de materiales y tecnologías, no es recomendable comparar las corrientes de los fotocátodos de ambas tecnologías en forma directa, ya que puede inducir a distorsiones debido a que el efecto final de las corrientes de los fotocátodos será distinto en cada caso.

Dicho lo anterior nos planteamos la siguiente pregunta, dado que es un parámetro im-

portante para los tubos de visión nocturna y se encuentran definidos de distinta forma en las tecnologías antes mencionadas, ¿cómo logramos llevar a comparación dicho parámetro, que afecta la calidad de fabricación de los tubos, en nuestra evaluación?

Como no es posible comparar la sensibilidad del fotocátodo en diferentes tecnologías, se buscó un parámetro que integrara un mayor número de variables y que considere dentro de ellas la sensibilidad del fotocátodo y que además sea representativo para el tubo.

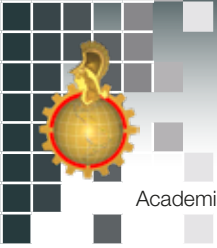
Si analizamos los parámetros definidos que caracterizan de mejor forma al tubo encontramos que el FOM (figura de mérito) está compuesto por la resolución y la relación señal a ruido, encontrándose en este último parámetro que dentro de las variables que lo conforman, la sensibilidad del fotocátodo es una de ellas, como se puede apreciar en las siguientes fórmulas:

- ✓ Para fotocátodos de arseniuro de galio la ecuación que permite determinar la relación señal a ruido es la que sigue:

$$SNR = \sqrt{\frac{AESt_i}{eF}}$$

Dónde:

- A = área de interés (m<sup>2</sup>)
- E = iluminación de la entrada (lux)
- S = Sensibilidad del fotocátodo (A/lm)
- t<sub>i</sub> = tiempo de integración (s)
- F = factor de ruido.
- e = carga elemental (16 E – 19 C)



- ✓ Para los fotocátodos multialcalinos la ecuación para determinar la relación señal a ruido es la que sigue:

$$SNR^3 = \sqrt{\frac{\sum I_u A}{2\Delta f F q_e}}$$

Dónde:

- = es la sensibilidad del fotocátodo en microamperios por lux  $\mu A/lm$
- <sub>LL</sub> = es la entrada de luminancia en lux
- A = es el área iluminada del fotocátodo por metro cuadrado (m<sup>2</sup>)
- Δf = es el ancho de banda empleado para medir la relación señal a ruido en Hertz (se emplea el ancho de banda de la visión humana) (Hz)
- = carga de un electrón en coulomb (C)

Ambas ecuaciones son iguales a la relación señal a ruido, parámetro que integra la corriente de fotocátodo y otras variables, constituyendo por tanto una variable de mayor nivel para comparar las dos tecnologías.

## Mando y control, tendencias y aplicación.

### Resumen

**L**os sistemas de mando y control han evolucionado desde su concepción más básica y simple a una estructura extremadamente ágil e integrada, permitiendo al mando tomar decisiones más acertadas en tiempos nunca antes imaginados. Es en este contexto, se pretende conceptualizar y describir el

### Conclusión

En conclusión, del análisis anterior, se puede establecer que no siendo posible la comparación de los valores de la sensibilidad del fotocátodo en diferentes tecnologías, si se puede comparar la relación señal a ruido de tubos construidos con ambas tecnologías, motivo por el cual se propone eliminar de las evaluaciones las corrientes o sensibilidad del fotocátodo y comparar la relación señal a ruido por ser esta una variable que permite de mejor forma la comparación de dispositivos de tecnologías diferentes.

### Bibliografía

1. Bosch Leon A. (2000). Image Intensifier Tube Performance Is What Matters, Image Intensifier and Amplifications II, C. Bruce Johnson, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 4128.
2. Csorba. Illes (1997). Modulation transfer Funtion Image Tube Lenses, Applied Optics, Vol 16 N° 10.
3. Pothonis Technical paper.

MAY. (IPM) Jaime Triviño Bustamante, Ingeniero en Sistemas de Armas, mención Electrónica. Magíster en Tecnologías de la Información.

papel que cumplen los sistemas de mando y control (SMC) en un área tan compleja y trascendental como es la defensa. Para ello se presenta un marco conceptual asociado al mando y control y su activo más importante, la información. Luego se expone una serie de tendencias a nivel global asociadas al mando y control, para finalmente presentar

