

## CAPACIDAD AMPLIFICADORA DE LOS INTENSIFICADORES DE IMAGEN

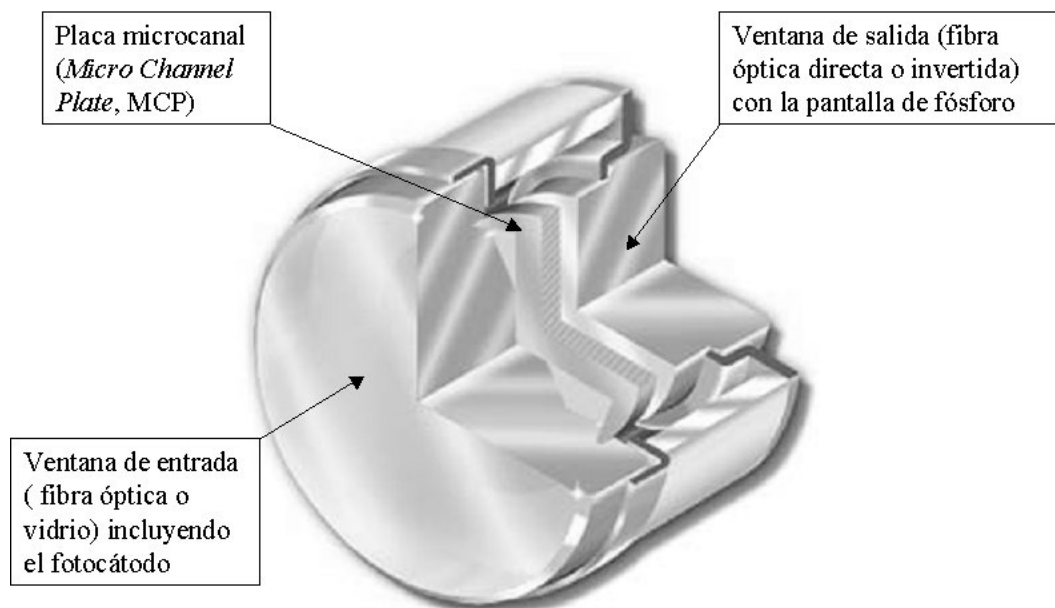
José Díaz, María Tuduri, Carlos Dorronsoro, Carmen Blanco y Rosario Pareja.

Laboratorio de Ensayos, Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada, C/. Arturo Soria  
289, 28033 Madrid

### 1. Introducción

El ojo humano es sensible al rango visible del espectro electromagnético que se extiende de los 380 nm a los 780 nm aproximadamente. Esta sensibilidad espectral cambia dependiendo de que la detección se realice con uno de los dos tipos de fotorreceptores. La visión fotópica se realiza con los conos y la escotópica con los bastones, existiendo una zona de transición entre las  $10^{-3}$  a  $10$  cd/m<sup>2</sup> en el que conos y bastones se encuentran involucrados en la detección (visión mesópica). Un observador joven y entrenado puede distinguir grandes objetos de elevado contraste en una escena iluminada a  $10^{-4}$  lx (noche cubierta con estrellas). Con la iluminación de la luna llena ( $10^{-1}$  lx) se mejora la visión y es posible distinguir los grandes titulares de periódico. A esos niveles apenas se puede distinguir el color, siendo necesario que el nivel de iluminación aumente más de un orden de magnitud. A valores superiores a 1 lx la agudeza visual es bastante buena y a 100 lx (el nivel de la iluminación de casas y oficinas) es muy alta.

Los tubos intensificadores de imagen (TII) son dispositivos que amplifican la tenue imagen producida con la luz “residual” de la noche en el rango de  $10^{-4}$  lx (noche muy cubierta con estrellas) a 0.1 lx (luna llena). La irradiancia espectral natural del cielo nocturno alcanza su máximo en el rango IR próximo de 1.0  $\mu$ m a 1.3  $\mu$ m (la proporción de fotones es de cinco a siete veces superior en el rango de 800 nm a 900 nm que en la vecindad de los 500 nm), y la reflectancia de muchos materiales que aparecen usualmente en las escenas también aumenta en el IR. Así, el desarrollo de los fotocátodos de los TIIs tiende a extender su rango de sensibilidad hacia la región del IR próximo.



Estos dispositivos van integrados en equipos ópticos de observación (prismáticos, cámaras, telescopios,...) en lo que se denominarían sistemas de visión nocturna. Los sistemas militares (p.e. gafas de visión nocturna) pueden amplificar hasta 3000 veces la iluminación de una escena. Los TII, inicialmente utilizados en aplicaciones militares, han sufrido una amplia difusión en actividades civiles realizadas bajo condiciones de baja luminosidad tales como observación y vigilancia, rescate, navegación, fotografía, filmación y televisión, así mismo son herramientas aplicadas a la investigación científica en campos tales como las observaciones de efectos bioquímicos y luminiscentes, y de débiles descargas eléctricas, la microscopía intensificada, la endoscopia, la astronomía, etc.

El desarrollo de la visión nocturna, y en especial de los dispositivos intensificadores de imagen ha sido espectacular durante los últimos 25 años, pero estos logros no suponen en la actualidad más que un 50% de su capacidad potencial. La tecnología involucrada en la fabricación de los tubos intensificadores de imagen es multidisciplinar y compleja requiriéndose más de 400 delicados procesos repartidos en las tareas de crecimiento de los fotocátodos, fabricación de placas microcanal, pantallas de fósforo, cuerpo del tubo, fuente de alimentación, técnicas de alto vacío, medidas y encapsulados. Para evaluar las estrictas especificaciones técnicas de estos dispositivos, el Laboratorio de Ensayos del CIDA a desarrollado una serie de bancos y procedimientos de caracterización y medida de tales equipos en laboratorio. Estos ensayos, integrados en el marco de un Sistema de Calidad, han sido acreditados por el Ministerio de Defensa.

## 2. Rango dinámico de los TIIs

La capacidad amplificadora del intensificador de imagen está regulado por un control automático de brillo que limita la ganancia de la placa microcanal. El control automático de brillo produce una ganancia constante hasta una determinada iluminación incidente sobre el fotocátodo, a partir del cuál comienza a reducirse. Por encima de 1 lx de iluminación de entrada la máxima cantidad de luz que emite la pantalla de fósforo o *brillo de salida* está limitado a 14 cd/m<sup>2</sup>. La potencia equivalente de ruido o *Equivalent Background Input* (EBI) representa la cantidad de luz de entrada por debajo de la cuál el tubo intensificador emite una cantidad de luz de fondo o ruido. El EBI es depende de la temperatura ambiente duplicándose en los TIIs de 2<sup>a</sup> generación cada 3°C y en los de 3<sup>a</sup> cada 4°C.

Tabla 1. Valores típicos del EBI y la ganancia.

	GEN 2	GEN 3
<b>EBI</b>	0.8·10 <sup>-7</sup> lx	1.0·10 <sup>-7</sup> lx
<b>Ganancia</b>	20K	25K a 65K

## 3. Relación señal a ruido

El factor más importante para evaluar la capacidad del sistema en condiciones de muy baja iluminación es la relación señal a ruido (S/N). Cuanto más elevado sea este parámetro, mayor será la capacidad del tubo de resolver objetos con buen contraste bajo condiciones de baja iluminación.

La S/N está regulada esencialmente por la emisión de fotoelectrones del fotocátodo con una estadística de Poisson. Adicionalmente a esos procesos, la emisión de electrones secundarios con los que la placa microcanal proporciona ganancia (con estadística de emisión

y amplificación aleatoria lo que da una distribución de pulsos aleatoria) y los pulsos espurios debidos a los procesos de ionización del gas reducen la relación S/N en un factor 2:1. Un bajo nivel S/N indica una sensibilidad del fotocátodo baja (o un mecanismo de ganancia ruidoso). La medida de la relación señal a ruido de un intensificador de imagen es la medida del promedio del brillo de salida (señal) dividido por la desviación estándar del mismo (ruido) de acuerdo a la ecuación:

$$S/N = \frac{S_{sgn} - S_{bkd}}{K \cdot (N_{sgn}^2 - N_{bkd}^2)^{1/2}}$$

donde,

S ≡ señal continua

N ≡ desviación cuadrática media del ruido.

S<sub>sgn</sub> ≡ señal promedio de salida del sistema de medida S/N.

S<sub>bkd</sub> ≡ señal de fondo promedio del sistema de medida S/N sin luz de entrada.

K ≡ factor de correlación para obtener una relación señal-ruido sobre un ancho de banda equivalente de 10 Hz independiente de la respuesta en frecuencia del dispositivo; está entre 1.14 y 1.20 dependiendo del tipo de fósforo.

N<sub>sgn</sub> ≡ desviación cuadrática media del ruido de salida del sistema de medida S/N.

N<sub>bkd</sub> ≡ desviación cuadrática media del ruido de fondo del sistema de medida S/N sin luz de entrada.

La medida es efectuada con un punto de entrada de luz de 0.2 mm de diámetro situado en el interior de un círculo de 1 mm de radio desde el eje óptico del dispositivo, y un nivel de luz de 10<sup>-5</sup> fc (1.07 10<sup>-4</sup> lux) de una fuente de irradiancia a una temperatura de color de 2856 K ± 50 K. La luz emergente del tubo es focalizada sobre un orificio con un diámetro ≥ 0.2 mm de la que se mide la señal media y la desviación estándar del brillo en un ancho de banda equivalente de ruido de 10 Hz. La elevada variabilidad de la medida con respecto a la posición del tubo y a la variación de la iluminancia incidente sobre el fotocátodo produce una alta incertidumbre en los resultados proporcionados.

Tabla 2. Valores típicos de la S/N.

	GEN 2	GEN 3	GEN 3 sin barrera de iones
S/N	12.5	23	27

## Bibliografía

[1] Illes P. Csorba, *Image Tubes*, Howard W. Sams & Co., Inc., USA 1985.

[2] Lucien M. Biberman (editor), *Electro-Optical Imaging: System Performance and Modeling*, SPIE Press, USA 2000.

## Agradecimientos

Todas las actividades experimentales realizadas por el Laboratorio de Ensayos serían inabordables sin la ayuda de los técnicos de laboratorio Francisco Tierraseca e Israel Martín a los que dirigimos especialmente estos agradecimientos.