

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT DE CIÈNCIA I ENGINYERIA NAUTIQUES

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VISIÓN NOCTURNA
EN LA NAVEGACION MARÍTIMA Y LA SEGURIDA EN LA
MAR

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor por la Universitat Politècnica de
Catalunya

José Fº González La Flor

Director de tesis

Víctor A. García Carcellé

29 de Enero del 2010

Capítulo 3. Resultados

3.1. SISTEMAS DE INTENSIFICACIÓN

3.1.1. Intensificadores de luz residual portátiles

Del trabajo de campo realizado con este sistema se han buscado las pautas para una correcta interpretación y evaluación de los resultados de la observación de las imágenes de las cámaras de intensificación de luz residual.

Los principios teóricos que podrían justificar su utilización son que la eficacia cuántica de los fotocátodos más eficientes ronda el 20% en el espectro visible, mientras que la eficacia cuántica de la adaptación del ojo en la oscuridad absoluta es solo el 1% lo que en principio podría justificar la utilidad de este sistema.

No obstante hay que tener en cuenta estudios realizados al respecto (15), la principal limitación es que rara vez se alcanza un valor de agudeza visual de 20/40 de la tabla Snellen, por los utilizadores de estos equipos, lo que supone una eficacia máxima del 80%.

En estos sistemas la luz externa residual de las estrellas, astros o luna proporciona iluminación al objeto observado y debido a la reflexión de esa luz nos permite ver los objetos y sus colores. Para esta frecuencia espectral se produce una mínima absorción, basándose la detección en la reflexión de esta energía lumínica del objetivo observado. En el medio marítimo no hay una relación establecida entre los distintos tipos de objetivo y su capacidad de reflexión.

Es evidente que según la generación del equipo se obtendrán unos resultados u otros, aunque de forma general y exceptuando algunas cuestiones puntuales, los equipos que utilizan tubos de Gen III ofrecen mejores prestaciones y resultados en alcance de detección y probabilidad que los de GenII.

Del estudio de las observaciones realizadas con este sistema vistas en el capítulo 2.1.1.6. , utilizándolo como monóculo o binóculo de forma similar a lo que utilizaríamos unos prismáticos se obtuvieron los resultados más representativos siguientes.

- Efecto perjudicial del halo y la fluorescencia: Este efecto es una constante en todas las observaciones en la que se observaban luces procedentes de buques. Este efecto no deseable no disminuye con el sistema automático de control de ganancia (auto-gated) que dispone el equipo y que limita el exceso de brillo de la imagen observada cuando proceden de puntos con mucha iluminación.

- A distancias largas (> 2 millas) se produce una intensificación considerable de las luces navegación del buque observado y las de la cubierta, aunque la amplificación de la luz residual no aporta ninguna información adicional a la que aporta la visión directa.
- Para distancia media ($>0.5 < 2$ millas) el efecto del halo es tan considerable que no permite obtener ninguna información del buque, llegando en algunos casos a ser más perjudicial la utilización del equipo intensificador.
- Para distancias cercanas (< 0.5 millas) el beneficio del intensificador mejora, pero siempre que no exista puntos de luz intensos en un entorno muy oscuro como ocurre en las imágenes tomadas en la mar. En general, la aparición de ruido visual en florecimiento (blooming) o (washing out) y halo es una constante.
- En la observación de personas en el agua a distancias medias, tampoco resulta muy efectivo, ya que la superficie a detectar (en este caso la cabeza de un persona) es pequeña, resultando difícil su localización. A medida que disminuye la distancia hasta los 250 metros aproximadamente no se obtiene un buen rendimiento al equipo, llegando al rango de los 120 metros en los que es posible identificar a una persona en el agua. Cuando se trata de embarcaciones pequeñas en el agua se obtienen buenas prestaciones en el rango de distancias menores de 0.5 millas sin luna y de cómo máximo 1 millas para balsas salvavidas.

Del conjunto de las observaciones efectuadas y teniendo en cuenta los factores a considerar en los sistemas de intensificación vistos en capítulos anteriores destacamos que los principales factores que han podido afectar a la intensificación de las imágenes obtenidas en este estudio son:

- Condición celeste y luz residual; Se han tomado imágenes en casi todas las circunstancias, aunque se ha mantenido la constante del incremento de la luz residual producida por las luces artificiales procedentes del puerto y la ciudad. Este no ha sido un factor negativo, sino todo lo contrario.
- Condición atmosférica; Las condiciones atmosféricas en las que se han efectuado las observaciones, se han mantenido en el rango de la normalidad en las que la visibilidad ha sido buena, con ausencia de niebla o calima. En cuanto a la relación entre la condición atmosférica y el equipo utilizado es conocido que la GEN III tienen mayor grado de penetración a través de la niebla que los de GEN II, ya que la niebla tiene una menor transmitancia en la zona espectral de $0,450\mu\text{m}$ a $0,500\mu\text{m}$ (los tubos de GENIII trabajan en la zona espectral de $0,625\mu\text{m}$ a $0,900\mu\text{m}$ y los de GENII de $0,480\mu\text{m}$ a $0,850\mu\text{m}$)

- Contrastes entre el fondo de la imagen y el objetivo; La falta de contraste limita la capacidad de detección o reconocimiento y esto se pone de manifiesto, en las imágenes obtenidas, como por ejemplo la imagen de la Fig.3.35 en la que se muestra a una persona en el agua.

La valoración general de la capacidad de estos equipos para el rango de distancias contempladas en esta tesis, se puede medir por la cantidad de información útil que recibe el marino y en este caso los resultados obtenidos nos permiten hacer las siguientes consideraciones:

Para las observaciones de buques dentro del rango medio de distancia mayores de dos millas no resulta efectivo ya que su utilización no aporta información que podamos considerar importante.

La utilización de lentes de aumento disminuye considerablemente el campo de visión, con lo que se dificulta la búsqueda de contactos. También se aprecia una relación directa entre la utilización de lentes de aumento y el ruido visual. Una lente con amplificación 1:1 y un 40° de FOV proporcionan la actuación óptima, pero para la observación en la mar se necesitará mayores aumentos lo que impide una visión periférica así como la reducción de la cantidad de luz capturada. Como referencia téngase en cuenta que los prismáticos de uso náutico son de 7 aumentos y 50° de campo visual. El mejor alcance eficaz, normalmente se logra con ópticas de calidad con la amplificación mínima de 5 aumentos (X5) y un tubo intensificador con una resolución alta.

Efecto perjudicial del halo y la fluorescencia para la interpretación de imágenes intensificadas.

Como ya vimos en capítulos anteriores, la agudeza visual o habilidad para la detección o percepción de un objeto, dependerá del observador y del equipo utilizado, pero si la relacionamos con la distancia y las probabilidades de detección, podemos decir que disminuye cuando decrece la luz residual y cuando disminuye el valor del contraste.

Otros aspectos en los que no se ha profundizado pero han de tenerse en cuenta es el propio movimiento del observador como consecuencia del movimiento del buque y que junto con el estrecho campo de visión con el que se observa con lentes de aumento el estudio, constituyen la causa de los problemas de mareo y desorientación.

También hay que tener en cuenta la adaptación a la oscuridad en el puente después de haber observado a través de la cámara, que aunque no implica una disminución en cuanto a la capacidad del sistema, si que hace menos cómoda su utilización. El uso del monóculo, en comparación con el binocular, permite una mejor adaptación de la visión en el paso de visión intensificada a la visión en la oscuridad del entorno del puente de gobierno, aunque el uso de equipos de visión nocturna binocular es el mejor bajo todas las circunstancias en las que fue utilizado.

Además, la efectividad de los equipos de visión nocturna se ven perjudicadas por la presencia de agua salina pulverizada en el ambiente, caso normal cuando se navega en condiciones de mal tiempo. Además de que la visión nocturna con intensificadores de luz residual no es efectiva con altura de olas mayores de un metro en las labores de búsqueda de personas en el agua.

Por último, es de destacar que es un sistema muy barato en comparación con el resto de sistemas de visión nocturna, de muy bajo mantenimiento y muy fácil de utilizar, aunque el rendimiento es reducido y siempre depende de la cantidad de luz residual.

El futuro de estos sistemas se encamina hacia los sistemas duales y de fusión de imágenes en las que se pueden obtener imágenes en color.

3.1.2. Sistemas anticolidión para buques HSC

Ha de tenerse en cuenta que el sistema tiene su origen en una aplicación muy concreta (navegación en la bahía de Hong Kong), donde la existencia de muchas embarcaciones de pequeño porte es muy elevada, aumentando considerablemente el riesgo de colisión para un barco HSC.

La distancia de detección es corta y el tiempo de reacción del piloto para evitar una colisión disminuye considerablemente debido a la alta velocidad del barco y que requiere de un operador permanentemente sentado delante del monitor para asegurar su eficacia.

Del estudio realizado sobre la aplicación de las cámaras de visión nocturna basada en el sistema de intensificación de luz residual utilizadas en los buques de alta velocidad como sistema anticolidión se detallan a continuación los resultados más significativos son:

Estos equipos, deben considerarse como un elemento complementario a otros equipos de navegación, como puede ser el radar, al que no pueden sustituir, pero sí incrementar la información que recibe el responsable del gobierno de la nave.

La configuración y prestaciones de este sistemas de visión nocturna, puede cumplir una función específica no cubierta de forma satisfactoria por el radar y es la detección de contactos muy próximos al buque, y es especial cuando por condiciones atmosféricas se está utilizando el radar con algún atenuador de mar o lluvia (anti-clutter) por lo que a distancias muy próximas es donde estos equipos para buques de alta velocidad tiene esta especial aplicación como sistema anticolidión.

El radar tiene la ventaja que efectúa una búsqueda de 360° y que el alcance de detección es muy superior además de medir la distancia de detección y su demora. En contra, la información que

obtenemos con el radar además de depender de la reflectividad del objeto, no aporta información fidedigna de su tamaño, naturaleza, identificación y/o posibles intenciones.

Estos sistemas se pueden instalar enlazados con el radar de forma que automáticamente la cámara de visión nocturna se oriente en la misma demora en la que el radar detecta un objetivo, obteniendo más, mejor y con mayor rapidez información fidedigna del contacto observado.

Además es bien conocido por el navegante que en la línea del horizonte aparecen innumerables puntos de luz procedentes de tierra y que pueden enmascarar la presencia de embarcaciones, sobre todo cuando se recalca en un puerto durante la noche.

Atendiendo a los mencionados valores, podemos deducir que la distancia máxima eficaz de estos sistemas de visión nocturna instalados en buques de alta velocidad como sistema anticolidión oscilará entre los 600 y los 1000 metros, según el sistema de iluminación seleccionado ya que el alcance está limitado condicionado por la zona cubierta de la fuente de iluminación externa con de focos iluminadores de NIR.

También hay que tener en cuenta que muchos de estos equipos se instalan sin giroestabilización por lo que en condiciones de mar en las que la altura de olas produzca el cabeceo del buque puede hacer perder la efectividad al sistema, aunque algún fabricante cuestione la necesidad de la giroestabilización en aras de una disminución del coste.

Relacionado con el movimiento, debemos tener presente la dificultad adicional que entraña el uso de estas cámaras cuando el buque que navegue en condiciones meteorológicas adversas, que produce el movimiento del observador o el del objeto observado y la relación entre ambas. En estas circunstancias si se trata de un sistema fijo deberá tener un sistema giroestabilizado para ser plenamente operativo ya que de acuerdo con algunos estudios relacionados sobre este tema (104), parece claro que es mucho más fácil detectar un objeto en movimiento por un observador fijo que no al contrario

Si este principio lo aplicamos a la detección de naufragos, comprenderemos que además de otros muchos factores, las condiciones de la mar supondrán una mayor dificultad de detección.

No hay que perder de vista el constante desarrollo de esos sistemas y su inminente desarrollo hacia sistemas que puedan trabajar en varias bandas o sistemas multispectrales, utilizando para cada necesidad una cámara o simplemente la discriminación de imágenes observándola con distintas bandas. También se están desarrollando sistemas que mejoran la detección utilizando láser pulsado.

Otro factor relacionado a tener en cuenta es la complejidad de la imagen observada. La complejidad de la escena es estrictamente una función del contenido espacial, no del contraste. La relación entre la agudeza visual que ofrecen estos equipos y la habilidad para detectar o reconocer un objetivo es una relación compleja que varía de un individuo a otro y de un equipo a otro.

Aunque la actual reglamentación obliga la utilización de estos equipos para buque HSC, no obliga a ocupar un puesto dedicado para un observador, aunque como hemos visto anteriormente parece necesaria una observación continuada del sistema para mantener su efectividad. Tampoco define que tipo de equipo debe instalarse, indicando únicamente unos requerimientos funcionales mínimos, por lo que también podrían utilizarse sistemas anticolidión basados en sistemas o cámaras de IR.

3.2 SISTEMAS DE IR

Los resultados obtenidos los podríamos agrupar en función de:

- consideraciones generales sobre la aplicación de la visión nocturna en la navegación y seguridad en la mar.
- resultados de estudios de campo
- resultados estudio estadístico

3.2.1. Consideraciones generales

La elección teórica de un detector, implica muchos factores a tener en cuenta. Además estos factores están vinculados directamente entre sí, lo que hace que la elección sea en algunos casos compleja. Antes de seleccionar un sistema deberemos conocer principalmente:

- banda de trabajo
- resolución espacial
- sensibilidad termal

Banda de trabajo:

Para condiciones de niebla en la frecuencia de 0.4-0.75 μm (espectro visible) la transmitancia es bastante más baja que en las bandas de 3-5 y 8-12 μm , lo que se justifica, en principio, la utilización de los equipos de IR, tanto en visión nocturna como en diurna.

La longitud de onda larga ofrece excelente visibilidad de la mayoría de los objetivos con una transparencia atmosférica del 90% y presenta una estabilidad excelente, aunque para objetivos terrestres se ve muy afectado por el polvo y el humo. Si tenemos en cuenta que a temperatura ambiente, sobre los 26-27°C (300°K) la radiación espectral es máxima entre los 9 a 10 μm , para la detección de un cuerpo humano está será la longitud de onda idónea.

Sobre el rendimiento de cámaras de visión nocturna en ambas ventanas de transmisión atmosférica, con características distintas en cuanto al tipo de detector y el tipo de matriz (estática o escaneada) llega a la conclusión que para cámaras de IR de propósito general en cualquier tipo de condiciones, la banda de LW muestra ser mejor en términos de obtener una menor degradación de la calidad de imagen por la absorción atmosférica del agua y el dióxido de carbono. También se observa un buen rendimiento de los sistemas no escaneados en presencia de lluvia.

La banda de MW es más irregular y presenta unos grandes picos en la absorción y transmisión en presencia del agua y/o dióxido de carbono, por lo que en algún estudio da una ventaja razonable de transmitancia en la zona de 3 a 4 μm comparándola con la región de 8-12 μm , para densidades de niebla que corresponde a una distancia visible de 630 a 1000 metros, obteniendo una mayor eficacia en las distancias máximas de detección de entre 1-2 Km.

Llegado a este punto y dado lo complejo del tema y las distintas apreciaciones de los múltiples estudios sobre el tema, parece que para ambientes marinos donde se tienen niveles altos de humedad en los que se tengan objetivos con mayor temperatura la banda de MWIR presentaría cierta ventaja sobre la LWIR y en especial se obtendríamos buenos resultados en caso de niebla moderada. En los demás casos podrían obtenerse mejores resultados en la LWIR.

En cuanto a modelos atmosféricos el que más nos interesa es el modelo marítimo que corresponde con las áreas continentales de latitudes medias bajo fuerte influencia de vientos procedentes del océano y es donde se suelen obtener peores resultados en cuanto a transmisión atmosférica por la cantidad de humedad. En general y comparando los modelos climáticos, se obtienen mejores resultados en climas subárticos de invierno y los peores en climas tropicales.

Simplificando, podríamos decir que para condiciones de baja visibilidad observando con un equipo de infrarrojos en la zona del 8 a 12 μm se vería como 1.5 veces más de donde debería localizarse algo sin utilizar uno de estos sistemas, por lo que si un contacto está a 1.000 metros cuando lo vemos sin ayuda, lo veríamos a 1500 metros con un sistema de visión infrarroja, aunque con una cámara con un buen valor de NEDT, podrían obtenerse detecciones de entre 3 a 5 Km.

No obstante, para nieblas muy densas alcances de entre 100 y 300 metros no existe ninguna mejora en la utilización de cámaras de IR y no hay diferencia entre el alcance visual con visión termal en ambas ventanas atmosféricas y la visión sin ayuda. Para lluvia, ninguna de las zonas del IR se obtiene resultado, siendo la zona visible la que presenta algo de transmisión atmosférica.

Resulta interesante un estudio comparativo estimatorio (132) de la información contenida entre la visión normal y la visión termal, dentro del balance termal terrestre, en términos de limitación de la información potencial obtenida (indicador principal de un sistema de conversión de imágenes) que la visión termal en la zona del espectro de 8-14 μm no es inferior a la visión humana bajo iluminación diurna.

Con todos estos criterios, podemos llegar a la certeza que la banda más adecuada para el ámbito marítimo, considerando la mayoría de tareas previstas en esta tesis, las bandas de trabajo preferentes son la de 3-5 μm y la de 8-12 μm , aunque esta última resulta más ventajosa en la mayoría de condiciones.

Para obtener buen nivel de detección y reconocimiento debe considerarse la resolución espacial y la sensibilidad termal como elementos predominantes, teniendo en cuenta que la imagen obtenida empezará a degradarse a medida que empeoren las condiciones atmosféricas y el contraste térmico. Para trabajar en frecuencias espaciales bajas, la sensibilidad termal es lo más importante, mientras que para altas frecuencias espaciales, la resolución espacial es el efecto dominante.

Resolución espacial:

La resolución espacial de las cámaras de visión nocturna está determinada por el tipo de FPA (número de detectores de la matriz, el factor de llenado y la sensibilidad del material detector) y las lentes ópticas asociadas al sistema.

Para la selección de una cámara otro elemento importante es la óptica asociada a la cámara. En función de la finalidad que se quiera obtener (cámara con propósitos generales o para sistemas de búsqueda) tendrán características que las diferencian. Para una cámara de aplicación general en la mayoría de los casos con unos ángulos de campo de visión medios (FOV) es suficiente.

Se debe tener en cuenta que una disminución de la información visual como consecuencia de una pérdida de resolución amplificada mediante óptica no siempre mejora la percepción. Una mayor amplificación de imagen no siempre implica una mayor calidad de imagen.

Sensibilidad termal:

Las cámaras equipadas con sistemas de enfriamiento criogénico son más sensibles a las pequeñas diferencias de temperatura por lo que la elección entre el tipo de cámara respecto a su sensibilidad (con o sin enfriamiento) y la elección de la banda de trabajo de la cámara será un equilibrio en el que a priori no habrá un claro vencedor.

En cuanto a los parámetros de referencia que determinan el rendimiento de una cámara de visión nocturna tenemos el NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) que de forma práctica determina la sensibilidad operativa de un sistema, aunque uno de los parámetros que mejor definen los sistemas es MRTD (Minimum Resolvable Temperature Difference) y combina la sensibilidad termal y resolución espacial. Cuanto menor será el valor del MRTD mejor es el rendimiento del sistema. Mediante el MRTD del sistema, valores relativos a la diferencias de temperatura del objetivo y del fondo de la imagen así como de la transmisión atmosférica y utilizando formulación permiten determinar el alcance teórico de reconocimiento para un sistema dado.

Para seleccionar una cámara, además de los factores principales anteriores y una vez determinada la zona del espectro en que podemos obtener la mejor transmisión atmosférica, se tendrán en cuenta entre otros los siguientes elementos.

- ✓ tipo de tarea encomendada al sistema
- ✓ características del objetivo
- ✓ consideraciones ambientales
- ✓ ángulo de visión (FOV)
- ✓ detector y detectividad
- ✓ tiempo de integración – sistema estático o escaneado

En cuanto a las características del objetivo, es un factor importante para la detección el contraste térmico entre el objeto observado y el fondo de la imagen. Si este contraste es bajo, resulta más difícil la detección.

Para las superficies tratadas con pinturas con base de aceite como puede ser el casco de un buque, sin tener en cuenta el color en el espectro visible, tiene una emisividad media de 0.9, además que una superficie con pintura negra mate tiene un poder emisor mayor que una superficie brillante. Otro valor a tener en cuenta en la piel humana tiene una emisividad alta, cercana al 1. En general la emisividad de los objetivos potenciales en el medio marino es favorable para la utilización de estos sistemas.

Obviamente a mayor tamaño se tendrá mayor probabilidad de detección y a mayor distancia. También a mayor superficie expuesta del objetivo, mejor será su radiación y por tanto mejor la imagen obtenida. Como ejemplo, es la diferencia de detectar un buque visto por el costado o visto por la proa. En el primer caso la detección e identificación es mucho más fácil.

Las condiciones ambientales influyen de forma directa no solo en cuanto a la transmisión atmosférica, sino también en estado de la mar e intensidad del viento que actúa directamente sobre el buque y se caracteriza por la formación de olas de tamaño considerable, que producirán el movimiento de la plataforma de instalación de la cámara, así como vibraciones como consecuencia de los pantocazos.

La nubosidad está relacionada con la radiación solar y por lo tanto con la temperatura que puedan alcanzar los objetos expuestos al sol y por consiguiente puede estar relacionada con la emisividad. A mayor radiación solar, los posibles objetivos aumentarán de temperatura lo que supone un incremento del contraste térmico, sobre todo en climas muy fríos con fuentes de calor relativamente pequeñas. Generalmente con temperaturas bajas los buques tienen mejor contraste

En lo referente a la influencia en la elección de la banda de trabajo y los sistemas estáticos o escaneados, en general los sistemas estáticos mejoran la sensibilidad por su mayor tiempo de integración, pero también requieren correcciones por falta de uniformidad de la matriz de detectores, mientras que los escaneados que para un mismo ángulo sustentado del detector, se obtiene una mayor resolución. Los detectores estáticos son más utilizados en las longitudes de ondas medias ya que tienen un mayor tiempo de integración que los sistemas escaneados. Dado el desarrollo de los detectores hacia matrices del millón de píxeles el futuro está encaminado a los sistemas estáticos.

Los detectores más utilizados en las cámaras de IR fotofónicas son;

HgCdTe – PV o (MCT); para su aplicación en imágenes se utilizan FPA híbridos con CCD para trabajar en las zonas de 3-5 μm y 8-12 μm , aunque con el inconveniente de una respuesta no uniforme entre los distintos detectores que forman la matriz.

InSb; para trabajar en la banda de 3 y 5 μm , es el de construcción más compleja pero se rentabiliza en aplicaciones donde se requiere una mayor sensibilidad termal extrema, por ejemplo en las imágenes militares de gran alcance o de vigilancia.

PtSi; para aplicaciones de imagen, se utiliza un sistema de barrera de Schottky con una zona de trabajo de 3 μm a 5 μm . y la ventajas es que soluciona una de los mayores problemas de otras matrices de detección, que es la falta de uniformidad.

PbS o PbSe; trabajan en el MWIR a temperaturas de entre 77 a 300°K y $\lambda_c=3-4 \mu\text{m}$.

Otro factor a considerar es la uniformidad de detector, el estado de desarrollo y el coste. Actualmente, se consideran detectores tecnológicamente maduros los PV- HgCdTe, InSb y PtSi aunque están evolucionando en aplicaciones de matrices grandes y píxeles más pequeños.

Los detectores MCT (Mercury Cadmiun Telluride) son los que tienen una mayor campo para desarrollarse y forman parte de la tercera generación de detectores de IR y que actualmente está en pleno crecimiento.

Además de los fotodiodos de HgCdTe, están en plena expansión los fotoconductores de pozos cuánticos (QWIP), y se avecina un futuro cercano con nuevos detectores, como puede ser los (InAs/GaInSb strain layer superlattices (SLS) y QDIP (Quantum dot IR photodetectors)

La tercera generación de sistemas de IR está consiguiendo mejor capacidad, con grandes matrices con valores de 10^6 píxeles, mejor resolución termal y la posibilidad de que un detector puedan trabajar en distintas bandas simultáneamente, lo que se conoce como detectores multispectrales,

two-color FPA o multicolor. Estos sistemas podrán mejorar considerablemente el rendimiento de las cámaras de IR para sistemas de visión nocturna.

Parece cercano el desarrollo y comercialización de detectores multiespectrales, aunque el desafío en el desarrollo de estos sistemas no está exento de sistemas con complicada estructura y fabricación. Con los detectores multiespectrales se obtendrán una mayor discriminación en la identificación de objetivos.

Además con la aportación de una nueva dimensión en cuanto al contraste, los detectores multibanda pueden ofrecer procesos avanzados de color mediante algoritmos que en un futuro mejorarán el rendimiento y pueden permitir la reducción de errores, como por ejemplo el cluter.

Otra posibilidad, es la utilización de “cámaras duales”, con capacidad de trabajar en ambas bandas, ya que disponen de dos detectores, como es el ejemplo de la cámara AGEMA 900 DUAL BAND, en la que se dispone de un detector de MW (InSb) y otro de LW (HgCdTe). También existen sistemas que incluyen cámaras de intensificación de luz residual, cámaras de IR fotónicas o térmicas y cámaras de visión diurna seleccionando en cada momento la más adecuada a la situación.

Los detectores para aplicación en la visión nocturna se han desarrollado intensamente con la invención y desarrollo de los Circuitos de Carga Acoplada (CCD) y el esfuerzo de los fabricantes se encamina hacia el aumento de productividad e incremento del volumen de producción. El desarrollo de los detectores es paralelo al de los circuitos y sistemas de transmisión y procesamiento de la señal.

En cuanto a la detectividad del detector, es un factor a tener en cuenta en la elección de una cámara. La detectividad varía en función de la longitud de onda y la tendencia es que siempre se tiene una mayor detectividad para longitudes de onda más largas.

El coste de un detector, depende, entre otros, del nivel de detectividad (D^*) del sistema, del sistema de enfriamiento requerido, su configuración y la perfección de la matriz. Unos de los factores que más influencia directa tiene sobre el precio final de una cámara de IR, es la posibilidad de aumentar la producción rentabiliza la inversión y disminuye el coste final.

Por otro lado, sabemos que los detectores termalres responden térmicamente a la radiación infrarroja procedente de un cuerpo u objeto que emite esta radiación en función de su temperatura. Este proceso es largo por lo que los detectores térmicos tienen un tiempo de respuesta más alto que los detectores fotónicos.

La señal obtenida no depende de la naturaleza de los fotones y es generalmente independiente de la longitud de onda. La señal depende del nivel de radiación y no del contenido espectral, afectándoles la transmisión atmosférica de la misma forma que a los detectores fotónicos.

Comparando los detectores fotónico y los térmicos, estos últimos responden más lentamente que los fotónicos, pero también tienen una respuesta de longitud de onda mucho más ancha en el espectro electromagnético y además que destacan por su bajo costo.

3.2.2. Resultados de estudios de campo

Aspectos generales de las cámaras térmicas y fotónicas.

Cámara Térmica:

Como vimos en el capítulo correspondiente, se hicieron observaciones a diferentes distancias y condiciones atmosféricas, obteniendo como resultado para distancias media (≈ 2.5 millas) y condiciones atmosféricas buenas (humedad 60-70% y buena visibilidad) no existe dificultad para reconocer un buque de porte medio (25.000 Tn), ya que se puede apreciar sin problemas para cualquier aspecto del barco. Cuando se utiliza la amplificación óptica, se incrementa la capacidad de reconocimiento pero también hay degradación de la imagen debido a una menor resolución espacial.

Para distancias sobre de 1.5 millas, se puede verificar la capacidad de este sistema para reconocer e identificar el buque bajo distintos aspectos y apreciar los cambios de rumbos y evoluciones. Si se disminuye la distancia pueden captarse muchos más detalles de las imágenes, incluido la presencia de personas en cubierta. Así mismo para distancias de entre 0.5 y 1 milla pueden observarse la claridad las boyas y sistemas de balizamiento.

Durante las observaciones cabe destacar los problemas con la falta de uniformidad del detector, debiendo hacer durante una observación varias correcciones. Esta corrección se efectuaba mediante un sistema que dispone la misma cámara y que implica una interrupción de la observación entre durante aproximadamente 30 segundos.

También se apreció la capacidad de detección de una persona en el agua, aunque en este caso se trató de un perro sumergido en una playa, La distancia entre el objetivo y el observador es de 700 metros y en el centro de la imagen puede apreciarse con completa claridad un punto esférico blanco que corresponde a la cabeza del perro dentro, nadando hacia la orilla. Una vez en la orilla se identifica claramente que se trata de un perro pequeño. También es perceptible la capacidad de discriminación térmica que permite diferenciar la rompiente de la ola del resto de la masa del mar, como se aprecia en las imágenes correspondientes.

Es de resaltar el fenómeno del contraste térmico entre el agua fría y el foco de calor producido por animal y que es un factor que beneficia en la tarea de detección de naufragos.

Cuando se trabaja con una cámara portátil debe tener en cuenta que el cristal que forma parte del puente de gobierno de un buque no es transparente a la radiación electromagnética del espectro del IR.

Al objeto de profundizar en este estudio el capítulo 2.1.2.4. se justifica la elección de un sistema fotónico basándose en la disponibilidad de equipos y justificado por el mayor rendimiento que pueden ofrecer.

Cámara fotónica

Se utilizó principalmente la cámara POP200 que cuenta con un detector FPA de Antimoniuro de Indio, trabajando en el rango espectral de 3-5 μm (MWIR). También se utilizó la cámara FLIR 640 en el rango de 3,6 a 4,9 μm (MWIR) y un detector de similares características aunque con una matriz de FPA bastante mayor. No se pudo disponer de ninguna cámara que trabajase en la zona del LWIR.

- Resultados obtenidos en lo referente al reconocimiento e identificación de buques:

Para distancia al objetivo de 5 millas el observador reconoce sin problemas el tipo de buque, dimensiones y porte aproximado, así como las condiciones de navegación (eslora, asiento, condición de carga) y el rumbo aproximado al que navega. La información obtenida mejora de forma evidente la información obtenida de la observación sin cámara de IR. Los resultados obtenidos coinciden aproximadamente con las distancia de reconocimiento que el fabricante del sistema manifiesta.

Para un marino con un mínimo de experiencia, la información que recibe al observar otro buque con los prismáticos, aunque suficiente, es la mínima necesaria para poder cumplir con en el RIPLA. En algunos casos y aunque se cumpla con las luces exigidas por el RIPLA, algunas luces de navegación son difíciles de distinguir como consecuencia de la excesiva o incorrecta iluminación de las cubiertas (por ejemplo en los buques de pasaje o un ferry). Mediante el uso de las cámaras de IR, la información que obtiene el oficial de guardia es considerablemente mayor.

Si comparamos entre la calidad de la información obtenida entre una imagen sin amplificación óptica y otra amplificada con una lente de 80 mm se aprecia una disminución de la información visual como consecuencia de una pérdida de resolución espacial, por lo que la amplificación mediante óptica no siempre mejora la percepción.

Observando la imagen de IR también podría confundirse el aspecto que ofrece el buque entre una visual de su amura de Er. o la aleta de Br. y este es uno de los aspectos a tener en cuenta ante la posibilidad de un error de interpretación de imágenes.

En el caso de detección de boyas con sistemas de IR, la cámara de visión nocturna no es tan fiable como la visión directa, ya que las boyas no tienen un gran volumen que facilite su detección y en cambio su luz puede percibirse a larga distancia, aunque también tendría que tenerse en cuenta el alcance de dicha luz y las condiciones de visibilidad. Cuando se trata de boyas sin luz la visión con una cámara de IR es más efectiva.

En las pruebas efectuadas en observaciones comparativas de buques con características muy similares en las mismas condiciones de navegación y dentro del rango de distancias de 5 millas, las imágenes nocturnas obtenidas sin la cámara de visión nocturna, se podía ver únicamente las luces de navegación y cubierta. Con esta información y sin un conocimiento previo y profundo de ambos buques prácticamente es imposible distinguir un buque del otro y únicamente se pudo determinar que podría tratarse de buques tipo RO-RO o de Ferry, pero no se obtuvo ninguna información relevante por la que pudiera reconocerlos o identificarlos.

Cuando se observó con la cámara de IR se pudo distinguir y confirmar que se trataba de dos buques del mismo tipo pero distintos, apreciando el porte aproximado de cada uno y la pequeña diferencia de tamaño que hay entre ellos. Posteriormente, observando en grupo de fotografías se identificó sin dificultad ambos buques. Podríamos decir que cada uno de ellos presentaba características especiales representadas por los diferentes puntos de calor o “firma térmica”. Conocer la “firma térmica” de un buque permite identificar o diferenciar a un buque en cualquier situación con mayor facilidad.

Otra característica que se aprecia con la utilización de las cámaras de IR es la capacidad de percibir cambios en la estructura de un buque, por ejemplo el movimiento de una grúa o el movimiento de una rampa o las maniobras en cubierta antes de entrar a puerto he iniciar las maniobras de carga o descarga . Aunque quizás la información en este caso no sea trascendente desde el punto de vista de la seguridad marítima, no cabe duda que al incrementar la información y mejorar la capacidad de decisión ante cualquier eventualidad.

Observando con la cámara de visión diurna hay escenas que pueden ser confusas ya que algunos buques no cumple con el RIPA (Reglamento Intencional para la Prevención de Abordajes) en su Regla 20 apartado b), en el sentido que no podrán exhibirse otras luces que puedan perjudicar la visibilidad de la luces de navegación que se estipulan en el mencionado Reglamento y pueden hacer que el piloto interprete mal las imágenes cosa que no ocurre con la utilización de una cámara de visión de IR. Si a esto añadimos que en algunas ocasiones (visibilidad reducida, mucho tráfico,

buques de alta velocidad...etc.), iniciar una maniobra no adecuada, puede suponer un mayor peligro, como es este caso, en el que navegan ambos buques en una zona de acceso a un puerto con mucho tráfico, podemos confirmar la eficacia de los sistemas de visión nocturna, además es importante que cuando se inicia una maniobra está debe ser “acertada” al objeto de disminuir la posibilidad de situaciones de confusión ya que en algunos casos , maniobras que en principio no son potencialmente peligrosas, acaban en abordaje.

Los focos de luz intensa pueden producir deslumbramiento cuando se observa un buque con prismáticos, mientras que cuando se observa con una cámara de IR, aparecen como puntos de calor, evitando de esta forma pérdida de información en la observación del objetivo.

Las imágenes de este tipo muestran información que algunas veces resulta curiosa como es el caso de la zona de la roda, que muestra mayor temperatura y este fenómeno solo puede relacionarse por el aumento de temperatura producido por el rozamiento del agua con el bulbo, que es claramente mayor que en otras zonas del casco. Este aumento de temperatura podría relacionarse con un asiento aproarte del buque como resultante de una distribución de carga específica. Este fenómeno de las diferentes temperaturas del casco también se ha notado en embarcaciones deportivas navegando a vela.

Es destacable en la imagen del IR, la profundidad de campo que aporta la imagen, y la capacidad de discernir la distancia a la que se encuentra entre si ambos buques, lo que resulta muchas veces difícil de determinar sin un sistemas de visión nocturna.

- Resultados obtenidos sobre la seguridad e interpretación de imágenes de infrarrojo:

Los resultados obtenidos en este apartado se centran es tres aspectos, que son la seguridad en las maniobras de recalada y entrada a puerto, la correcta interpretación de imágenes relacionadas con el aspecto del buque observado y la información sobre las distintas condiciones de carga.

Las maniobras recalada o de entrada de un buque en puerto, suelen ser situaciones potencialmente peligrosas ya que suelen darse problemas al no poder determinar con claridad las construcciones del entorno (espigón, muelles, pantalanes, etc.), añadiendo además la contaminación lumínica del alumbrado artificial y las luces procedentes de tierra que enmascaran las luces de navegación de otras embarcaciones. Además el radar suele perder eficacia en la detección de embarcaciones pequeñas. Para estás situaciones y dentro del rango de distancias de 2 millas se ha comprobado la alta eficacia de estos sistemas y el gran incremento que supone para la seguridad del barco, sobre todo cuando se recalca en un puerto desconocido.

En cuanto a cambios de rumbo, a distancia de 3 millas permite apreciar de forma clara el cambio de rumbo del buque con una antelación suficiente como para iniciar una maniobra en el caso que fuese

necesario, lo que incrementa la seguridad en la prevención de abordajes. La percepción de los cambios de rumbo es más rápida con las cámara de IR que con el radar.

En algunas imágenes es perceptible el ángulo de escora producido por un cambio de rumbo, y aunque esta información no es relevante para la seguridad de la maniobra, sí puede resultar muy importante para un caso de salvamento. El poder apreciar la escora en la oscuridad puede poner de manifiesto la gravedad de la situación en la que puede encontrarse un buque.

Uno de los problemas que se presentan en la observación de otros buques esta en relación con el aspecto que presenta el buque y la capacidad para el reconocimiento e interpretación de la información recibida del barco observado, entendiéndose por “aspecto”, el término náutico que identifica la parte de su casco o costado que estamos observando.

Para distancias de observación en el rango de las 5 millas y con una visibilidad ligeramente reducida, los aspectos de los buques observados con una cámara de IR que son susceptibles de proporcionar una información errónea son los que muestran al observador su Pr y amuras o Pp y aletas.

La correcta interpretación del aspecto del un buque no permite determinar el rumbo relativo al que navega y por consiguiente una valoración errónea de la situación y la posibilidad de un abordaje.

Esto no quiere decir que observado por la Pr. o Pp. no sea posible su identificación, si no que resulta más difícil, incrementando la posibilidad de errores, lo que implica que hará falta más atención y experiencia para determinar con seguridad si su aspecto es de Pr. o Pp.

Para disminuir la posibilidad de confusión es importante familiarizarse con la firma térmica de un buque, lo que se traduce en la necesidad de un incremento en el adiestramiento.

Otra información importante es conocer la condición de carga del buque. Con una cámara de IR se ha podido diferenciar claramente cuando el buque navega a plena carga o en lastre, ya que se puede apreciar fácilmente el franco bordo.

Relacionado con la condición de carga del buque, con la cámara de IR se ha obtenido información que puede ser importante para otras finalidades. Concretamente se pudo observar la distribución de la carga en bodegas y apreciar las diferencias de temperatura en cada una de ellas debido al incremento de temperatura de la carga a una distancia de 5 millas. En algunos casos un aumento descontrolado de la temperatura puede determinar un proceso de deterioro en la carga o la posibilidad de producirse un incendio.

- Control de daños:

Se pudo comprobar mediante imágenes la eficacia en la relación entre el uso de cámaras de IR y la posibilidad de determinar el control de daños o averías de un buque. Por ejemplo se observó a un buque navega con un solo motor, supuestamente debido a algún problema en la máquina ya que los escapes de uno de los motores estaba frío.

También se obtuvieron resultados satisfactorios en la posibilidad de detectar focos de calor anormal dentro de una bodega ya sea como consecuencia del calentamiento de la carga o del foco de un incendio.

Así mismo se han visionado imágenes de la cámara de IR en las que se pueden observar una fuente de calor muy intensa que procede del interior del buque, probablemente de la zona de motor y que pueden indicar una avería o un principio de incendio. La posibilidad de poder visualizar las fuentes de calor es una herramienta importante para cualquier buque de salvamento ya que le permite una evaluación rápida de la situación y su progresión.

- Detección humana en la mar:

Con visión de IR se obtuvo detección de personas en la cubierta de un buque a distancias de 1,5 millas e incluso de forma casual y dramáticamente se pudo observar la posible caída al agua de un cuerpo humano a la considerable distancia de 1,3 millas.

Los diferentes estudios referenciados en esta tesis sobre detección humana en labores de búsqueda y salvamento son coincidentes con las apreciaciones realizadas en las distintas observaciones realizadas. En este sentido puede considerarse que la distancia de detección nocturna de una persona en el agua con un sistema FLIR instalado en un helicóptero es de aproximadamente 1 Km.

En las pruebas efectuadas de detección de personas en condiciones de baja visibilidad fuera del agua fueron fiables hasta el rango de distancias de 1000 metros, aunque se tomaron imágenes de personas hasta los 2000 metros y como caso extremo se llegó al límite de los 3.100 metros, aunque esta distancia no es representativa de la operatividad de las cámaras usadas para el propósito de esta tesis y además debe de tenerse en cuenta que las distancias de detección dependerán de las distintas condiciones de visibilidad.

Como se puede observar gráficamente, las condiciones atmosféricas afectan de forma considerable a la capacidad de detección de personas. La detección es mucho más fácil cuando se observa a las personas en movimiento, aunque para ilustrar esta tesis, no hay más remedio que utilizar imágenes fijas.

Aun con todas las posibilidades limitaciones, las ventajas que ofrece son inmensamente mayores que la visión sin ayuda de sistemas de visión infrarroja.

3.2.3. Resultados estudio estadístico

El resultado del estudio estadístico revela que se considera muy aconsejable el uso de cámaras de visión nocturna, considerando que mejora la seguridad en la navegación en general y resulta útil en los trabajos y maniobras nocturnas y aunque en ningún caso se efectuó una búsqueda real de un naufrago, se considera que serían muy beneficiosa su utilización y que mejoran la visualización de un hombre al agua a partir de 250 metros.

También se considera que las cámaras de visión nocturna mejoran la detección en condiciones de lluvia intensa, aunque hay algunos que opinan que está mejora no es suficiente, lo que coincide con los estudios sobre transmisión atmosférica.

Descartando a los usuarios de sistemas de intensificación de luz residual y teniendo en cuenta únicamente las respuestas de los usuarios de equipos infrarrojos de visión nocturna, se aprecian diferencias al considerar los resultados ponderados obtenidos por “tipo de barco” o por el “grado de experiencia” de los encuestados.

Este resultado es normal ya que las tripulaciones de cada tipo de buque están directamente relacionadas con un determinado nivel de experiencia y conocimientos, por ejemplo, nos es lo mismo el resultado obtenido en un buque de salvamento marítimo que el obtenido en un buque HSC.

El dato más significativo es que a mayor experiencia profesional del encuestado, mejor valoran el uso de estos sistemas.

Capítulo 4. Discusión

Los resultados obtenidos y recogidos en el capítulo anterior confirman que en general, los sistemas de visión nocturna de IR, tanto térmicas como fotónicas mejoran la seguridad marítima para un amplio campo de aplicaciones.

Antes de llegar al capítulo de conclusiones podrían plantearse alguna cuestiones, pero quizás la más evidente es que si resultan efectivos para incrementar la seguridad en la navegación. ¿Por qué no se instalan en los barcos?

Existe una amplia gama de configuración y precios en función del rendimiento que se quiera obtener, pero para un sistema que no sea excesivamente exigente, por ejemplo, una buena cámara térmica con sistema giroestabilizado que cubriese las necesidades y requisitos expuestos en este estudio, no excedería de aproximadamente 70.000.€. (Voyager II de FLIR) Fig.2.93 y 2.94

La instalación es sencilla y las cámaras térmicas no necesitan un sistema de enfriamiento, ni requieren de un mantenimiento costoso. El manejo no resulta nada complicado y no se necesita mucha experiencia para obtener pronto un buen rendimiento. En opinión personal, es mucho más fácil de manejar que un radar.

¿Pueden considerarse los sistemas de visión nocturna un elemento superfluo? Parece que en la evolución de los sistemas electrónicos de ayuda a la navegación están marcados por la obligatoriedad de las distintas administraciones y la tendencia es que normalmente los armadores son reacios a la instalación de nuevos sistemas si no son obligatorios.

Para la tripulación de un barco que ha perdido a uno de sus tripulantes y en general para todos los hombres de la mar, supone que nunca más se debería escuchar el fatídico mensaje “se suspende la búsqueda hasta el amanecer”.

El bajo coste de estos sistemas ha permitido su incipiente implantación en la náutica deportiva en la que el precio de un sistema de visión nocturna, es mínimo comparado con el coste del barco o con los riesgos a los que puede verse envuelto el patrón de una embarcación y además de la fácil instalación. Un sistema sencillo para una embarcación deportiva podría costar de 4.500 a 8.000€ (Navigator Pan/Till de FLIR) Fig.2.90 y 2.91

Referente a los sistemas que pueden actualmente ofrecer un mejor rendimiento medio a precio asequible, parecen claramente descartados los sistemas de intensificación de luz residual, excepto que esté integrado en una cámara multisistema.

Por tanto se descarta la utilización de intensificadores de luz residual por considerar que no reúnen los requisitos mínimos para una aplicación amplia y en cuanto a su utilización en buque HSC como

sistema anticolidión no nos avalan los conocimientos prácticos profundos para determinar su eficacia, pero en base a este estudio y atendiendo al desarrollo de los sistemas de visión nocturna, consideramos que actualmente existen otros sistemas que podrían resultar más efectivos.

Como hemos visto, existen cámaras en las que se combinan varios sistemas que pueden ser de intensificación, fotónicas multibanda, térmicas, cámara de visión diurna de CCD, cámara de baja iluminación (LLLTV – Low Light Level Television Camera) e incluso aplicaciones como telémetros láser. Por ejemplo alguno de ellos utilizan la visión de intensificación para distancias próximas en las que se obtiene una buena resolución y calidad de imagen y cámaras IR fotónicas para la detección y reconocimiento.

Esta configuración no debe confundirse con la fusión mediante algoritmos de las señales de salida de los distintos sistemas y que se sintetizan en una imagen combinada, ni tampoco con los detectores de última generación de doble frecuencia (Two-color FPA) o los multifrecuencia (multicolor). El futuro de la visión nocturna se encamina hacia estos sistemas y proporcionarán imágenes de calidad excepcional e incluso en color.

En la práctica existe una tecnología para cada aplicación pudiendo perfilar un sistema idóneo para cada buque y necesidad. Dentro del amplio campo de aplicaciones, un sistema de visión nocturna siempre puede incrementar la seguridad en la navegación, permitiendo una correcta interpretación de las imágenes observadas de otros buques o marcas en tierra para una distancia mínima que no debe ser inferior a dos millas.

Algunas cámaras térmicas de baja calidad podrían encontrarse en el límite de las distancia de reconocimiento deseado, pero no aportar la suficiente calidad de imagen para aplicaciones más exigentes, como pueden ser distancias de reconocimiento e identificación a largas distancias o maniobras de búsqueda y salvamento, en cuyo caso debería elegirse un sistema fotónico, aunque a un precio bastante más elevado y con mayor mantenimiento.

Algunos fabricantes de cámaras no consideran necesario la instalación de la cámara sobre una plataforma giroestabilizada, suponemos que basado en la disminución del coste del sistema, aunque al objeto de mejorar las prestaciones y obtener el rendimiento mínimo requerido en los principios de este estudio y teniendo en cuenta las peculiaridades de la navegación marítima, debería considerarse siempre un sistema montado sobre una plataforma giroestabilizada.

En aquellos casos en los que se pretenda un rendimiento alto, como por ejemplo la detección de un hombre al agua, se puede determinar claramente que el sistema idóneo es una cámara de IR fotónica. Atendiendo a los criterios anteriores, los sistemas que ofrecen unas prestaciones más avanzadas son los sistemas fotónico, ante lo cual, se decidió para un desarrollo más profundo de esta tesis seleccionar la utilización de una cámara de IR fotónica giroestabilizada.

La tendencia en la fabricación de estos detectores es la de conseguir un funcionamiento de los detectores a temperatura ambiente y a una detección eficaz independientemente del ángulo de incidencia de la energía fotónica.

El uso de sistemas de visión nocturna como ayuda a la navegación solo tiene valor si hay un observador durante la navegación con un mínimo de adiestramiento previo y con capacidad efectiva de actuación o capacidad de comunicación de posibles situaciones de peligro. Este punto es importante si se trata de un buque HSC ya que ninguna legislación obliga a su cobertura de forma permanente con un operador de los sistemas de navegación nocturna, aunque existen criterios que debería considerarse obligatorio para buque de velocidad superior a los 25 nudos.

Capítulo 5. Conclusiones

Primero: Para concluir podemos establecer que las acciones o procedimientos en los que los sistemas de visión nocturna son efectivos, siempre que se mantenga una vigilancia adecuada.

Segundo: Los sistemas de intensificación de luz residual, comparados con los sistemas de IR no pueden considerarse suficientemente efectivos si se pretende obtener un nivel aceptable de seguridad.

Tercero: Las cámaras térmicas ofrecen una buena relación entre el rendimiento y el coste económico y para operaciones en que no se requieran grandes distancias de detección, permiten incrementar considerablemente la seguridad en la navegación, por lo que la implantación generalizada de sistemas de visión nocturna se encaminara hacia este tipo de cámaras. Los sistemas basados en cámaras fotónica ofrecen las mejores prestaciones en todas sus aplicaciones, pero son considerablemente más caras que las cámaras térmicas.

Cuarto: En lo referente a la seguridad en la navegación y en las maniobras del buque podemos afirmar que mejora la observancia en la aplicación del RIPA así como la correcta identificación e interpretación de las señales marítimas o elementos prominentes de la costa durante la noche. Incrementa la seguridad en la navegación con visibilidad reducida por niebla, tanto diurna como nocturna dentro de los límites que permite la transmisión atmosférica de las ondas del IR. También aumenta de forma considerable la seguridad en las recaladas nocturnas en puertos, fondeaderos, canales de acceso, dispositivos de separación tráfico y zonas en donde exista una mayor densidad de embarcaciones de pequeño porte.

Quinto: En los aspectos relacionados con la seguridad de la vida humana en la mar podemos afirmar con absoluta rotundidad que los sistemas de visión nocturna permiten mayor probabilidad de localizar y rescatar naufragos.

Sexta: En los distintos artículos y trabajos publicados relacionados con la aplicación de los sistemas de visión nocturna en la seguridad humana en la mar, en general, los resultados coinciden con los obtenidos en el trabajo de campo y el estudio estadístico de esta tesis, no observándose diferencias significativas, por lo que confirman el beneficio que supone la instalación de estos equipos en todo tipo de buques y que avalan su utilización para incrementar la seguridad.

Séptima: Por lo que se refiere a la seguridad en la navegación y en las maniobras del buque podemos afirmar que permite evitar la colisión con elementos flotantes o animales marinos. En la seguridad en las maniobras nocturnas, embarque de prácticos, toma de remolcadores de puerto es muy útil y además facilita la identificación de muelles y distancia a los mismos e incrementa la seguridad del personal de tierra y a bordo durante las maniobras.

Octava: La seguridad en los accidentes marítimos aumenta considerablemente en remolques de altura, salvamentos, naufragios y varadas. Puede ser un sistema útil para el control de derrames de hidrocarburos. Facilita considerablemente el control marítimo en zonas de separación de tráfico, torres de control o tráfico portuario.

Novena: En la seguridad interior y exterior del buque permite la localización de incendios a bordo así como el control de daños.

Décima: Puede ser muy efectivo en la vigilancia de intrusión o robo así como en actos de piratería.

Decimoprimer: Resalta que aunque en general son sistemas muy fáciles de utilizar, es de gran importancia que el entrenamiento en la utilización de estos sistemas para una interpretación adecuada de las imágenes observadas.

Decimosegunda: Estos sistemas, no pueden considerarse como un elemento principal de detección, y debe entenderse como complemento del radar, que tiene una capacidad de detección a mayor distancia, aunque en el aspecto de reconocimiento e identificación, los sistemas de visión nocturna tienen más ventajas. Es de destacar que la utilización conjunta y enlazada de forma automática de los dos sistemas incrementa de forma considerable la seguridad en la navegación y el tráfico marítimo.

Capítulo 6. Bibliografía

- 1) ACREO . ; Imaging Detectors for Electromagnetic Radiation [en línea] Fecha consulta: 6/12/2008. Disponible en: http://www.acreo.com/templates/Page____217.aspx.
- 2) ACREO . ; Detector Technology [en línea] Fecha consulta: 6/10/2008. Disponible en: http://www.acreo.com/templates/Page____226.aspx.
- 3) ACREO . ; QWIPS Arrays [en línea] Fecha consulta: 6/11/2008. Disponible en: http://www.acreo.com/templates/Page____227.aspx.
- 4) Adcock G.; Night CSAR (Combat Search and Rescue) [en línea] Night Vision Equipment Company. Prescott Valley, Arizona. Fecha consulta: 6/2/2005. Disponible en: <http://www.nvec-night-vision.com/otherlinks/nightscar.asp>.
- 5) Adcock G. ; Owning the night [en línea] Night Vision Equipment Company. . . . Prescott Valley, Arizona. Fecha consulta: 6/3/2005. Disponible en: <http://www.nvec-night-vision.com/otherlinks/owningthenight.asp>.
- 6) AIALA-AISM . ; Manual de ayudas a la navegacion. IALA -AISM Internat. Assoc. of lightose authorities- Asosc. Inter. Ayudas a la navegacion. Edicion 5. 2006.
- 7) Ames B.; Designers make incremental improvements to 2-G infrared viewers. Militari & Aerospace Electronics. 2005. Vol.16 n°5. Disponible en: www.milero.com.
- 8) Armentrout J.J.; An Investigation of Stereopsis with AN7ANVIS-6 Night Vision Goggles at Varying Levels of Iluminance and Contrast. Mastter's Tesis , Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg VA.
- 9) Balageas D.; Termografia IR: Una tecnica multifacetica para la evaluacion no destructiva. ONERA (The French Aerospace Lab.) - IV conferencia panamericana de END.Buenos Aires.
- 10) Balcerak R.; Technology for Infrared Sensors Produced in Low Volume [en línea] Presented at the Photonics West'95 Meeting. Fecha consulta: 8/28/2005. Disponible en: <http://www.darpa.mil/MTO/Sensors/articles/Photonics/index.html>.
- 11) Bater K. ; Gemperlein H.; Simulation in IR detection range for enhanced visión systems in civil aviation. Aerospace science and technology. 2004. Vol.8

- 12) Beier,C-Gemperlein H.; Simulation of IR detection range at fog conditions for enhanced visión systems in civil aviation. DLR- Remote sensing technology institute. Aerospace science and technology. 2004. 8. Wessling,Germany.
- 13) Berry A. ; Perez W. et al.; Tactical Night Visión System Operational and Functional Requeriment Analysis. Science Applications Intenational Corporation. HSD-TR-1991-0022. 1974. 4. Dayton, OH.
- 14) Biass E.H. ; Gourley S. ; Night VisionTechnology Update .Armada International. (5)
- 15) Biberman LM y Alluisi E.A.; Pilots error Involving Night Vision Gogles. Institute for Defense Analysis. IDA paper P-2638.1992. Alexandria , VA.
- 16) Blume, Alan L.; Waterway Management and the Operation of High-Speed Ferries. US Coast Guard Headquarters - Vesel Trafic Management. . . . Presented at Marine Log Ferries 2001.
- 17) Boletin de Observacion Tecnologica en Defensa; Dirección General de Armamento y Material. 2003. Boletin nº1 - 2003.
- 18) Bundas J. et al.; Two-color quantum well infrared photodetectors focal plane arrays. QmagiQ LLC - SPIE Defense and Security Symposium 2006. Mar. Nashua . USA. Disponible en: http://www.corebyindigo.com/PDF/SPIE/2-color_submission.pdf.
- 19) Campana S.B. et al.; Passive Electro-Optical Systems . En: Accetta J.; Shumaker D. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. Vol. 5 - Charpet 2 y 3.
- 20) Chan L.A.; Mix and match for better visión - Dual band imaging improves detection of military targets. OE Magazine April 2002. SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.5200204.0004. 2002. Aril. U.S. Army Research Laboratory, Adelphi, MD.. . . Disponible en: <http://spie.org/x25352.xml?ArticleID=x25352>.
- 21) Charlotte A.; Night Vision: Beyond Image Intensification [en linea] Avionics Magazine. Ene-2005. Fecha consulta: 2/12/2006. Disponible en: www.avionicsmagazine.com.
- 22) Chrzanowski K.; Testing of thermal imaging systems [en linea] Military University of Technology. . . . Warsaw - Polan. Fecha consulta: 5/15/2007. Disponible en: www.inframet.pl.

- 23) Chrzanowski K.; Characteristics of thermal imagers (draft- for educational applications) [en línea] Fecha consulta: 1/12/2010. Disponible en: www.inframet.pl.
- 24) Costard E. ; Bois Ph.; QWIP products and building blocks for high performance systems. THALES research and technology. Infrared Physics & Technology. 2005 Vol.47. 0.
- 25) Criado García-Legaz A.; Desarrollos en el campo del control integrado de buques: sistema de vigilancia naval. . Ingeniería naval (Madrid). Num.736.
- 26) Crowe D.G. et al. ; Electro-Optical Components. En: Accetta J.; Shumaker D. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. Vol. 3 - Charpet 4 y 5.
- 27) Csorba I.P.; Image tubes. Howard W. Sams & Co.Inc. Edit.J.L.Davis. 1985. USA.
- 28) D.A. Scribner,K.A. Sarkady; J.T. Caufield; Nonuniformity correction for staring IR focal plane arrays using scene-based techniques. Proceeding of the SPIE. SPIE. 1990.
- 29) Dahlberg A.GM. et al.; QWIP sensors in military applications. En: Holst G.C. Infrared Imagini Systems: Desing,Analysys, Modeling and Testing Proceedings of SPIE Vol. 4030-15.
- 30) Das S.; Zhang Y.; Color Night Visión for Navigation and Surveillance. Proceedings of the Fifth Conference Joint on Information Sciences. 2000. Dic. Bremen . Germany.
- 31) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA); Progrmas [en línea] Arlington, VA 22203-1713. Fecha consulta: 12/13/2006. Disponible en: <http://www.darpa.mil/mto/index.html>.
- 32) Dereniak E.L.;Boreman G.D.; Infrared detectors and systems. A Wiley-Interscience publication. 1996. USA.
- 33) Dhar V.; Khan Z.; Comparasion of modeled atmosphere-dependent range performance of LW and MWIR imagers. Solid State Physics Laboratory (India). Infrared Physics & Technology. 2008. Vol.51.
- 34) Diario Maritimas; Cámara de visión nocturna para el control del trafico marítimo. Diario Maritimas. Barcelona 26/12/2004. Pág. 2.
- 35) Diaz J. ; Tuduri M. et al. ; Capacidad Amplificadora de los tubos intensificadores de imagen. Laboratorio de ensayos . Centro de investigación y desarrollo de la Armada. 8º Reunion Nacional de Óptica - Santander Sep. 2003. Disponible en: www.dorronsor.net.

- 36) Dion D. ; Gardenal L. et al.; Calculation and simulation of atmospheric refraction effects in maritime environments. Proc. SPIE (4167).
- 37) Dorronsoro C.; Tubos intensificadores de imagen - Sistemas de visión nocturna [en línea]
Fecha consulta: 5/20/2005. Disponible en: http://www.moreno-barriuso.com/carlos/CarlosDorronsoro_PaginaPersonal.htm.
- 38) Dorronsoro C. ; Tuduri M. et al. ; Desarrollo de un simulador de escenas nocturnas automatizado para evaluación de equipos optronicos. Laboratorio de ensayos . Centro de investigación y desarrollo de la Armada. 7º Reunion Nacional de Óptica - Santander Sep. 2003. Disponible en: www.dorronsoro.net.
- 39) Driggers R.G. ; Cox P. ; Edwards T. (ed.); Introduccion to infrared and electro-optical systems. Artech House Boston. . 1999. Norwood, MA. USA.
- 40) Dudzik M.V. et al.; Electro-Optical Desing,Analysis and Testing. En: Accetta J.; Shumaker D. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. Vol.4 - Charpet 2 y 4.
- 41) Electrophysic; How Night visión works [en línea] . Fecha consulta: 6/17/2009. Disponible en: <http://www.hownightvisionworks.com/>.
- 42) Electrophysic; Undestanding IR camera thermal imaging quality. Electrofisics resource center - Thermal imaging. Electrophysics. Fairfield, UK. Disponible en: www.electrophysics.com/thermal-imaging.
- 43) Elliot B.; Eyes in the sky - sensors. International police aviation research. Police aviation news. 2003. Essex, UK. Disponible en: www.policeaviationnews.com.
- 44) Figeredo E.; Sucesos - Hombre hallado en el puerto. La Vanguardia. 2005. 29/12/2005. Barcelona. Pág.31.
- 45) Findlay G. ; Cutten D.; Comparation of 3-5 and 8-12 mm IR systems. Applied Optics. . 1999. Dic. vol.28 nº3.
- 46) Fink D. (ed.); Manual de Ingenieria Electronica . Tubos Electronicos Fotoemisores,Convertidores de Imagen e Intensificadores. McGraw-Hill. Vol. II.
- 47) FLIR Systems; Maritime Aplicacions [en línea] 2005. Wilsonville, OR 97070 USA.
Fecha consulta: 5/14/2005. Disponible en: <http://www.flir.com/imaging/maritime/index.aspx>.

- 48) FLIR Systems; Seeing in total darkness in a maritime environment [en linea] Fecha consulta: 7/23/2009. Disponible en: <http://www.flir.com/cvs/eurasia/en/content/?id=4766>.
- 49) FLIR Systems; Avoiding collision in port and in open water [en linea] Fecha consulta: 5/19/2008. Disponible en: <http://www.flir.com/cvs/eurasia/en/content/?id=4766>.
- 50) FLIR Systems; Technical note: Thermal imaging: how far can you see whit it? [en linea] Fecha consulta: 12/12/2009. Disponible en: <http://www.flir.com/cvs/eurasia/en/content/?id=4906>.
- 51) FLIR Systems; Cooled vesusu uncooled cameras for long range surveillane [en linea] Fecha consulta: 5/20/2009. Disponible en: <http://www.flir.com/cvs/eurasia/en/content/?id=4906>.
- 52) FLIR Systems; Metrological effects of fog & rain upon IR Camera Performance [en linea] Fecha consulta: 10/14/2009. Disponible en: <http://www.flir.com/cvs/eurasia/en/content/?id=4906>.
- 53) FLIR Systems; Metrological efects of fog and rain upon IR camera performance [en linea] Fecha consulta: 5/14/2007. Disponible en: www.flir.com.
- 54) FLIR Systems; VOYAGER Operator's manual.
- 55) FLIR Systems - Redcai S.A.; Guia Rapida del funcionamiento del sistema de visión nocturna/diurna SEA FLIR II .
- 56) Garcia Carcellé V.; Influencia de la visión en la siniestralidad del transporte rodado, marítimo y aereo. Servei de Comunicació Institucional de la UPC. Barcelona. .
- 57) Garcia Carcellé V.; Ergonomia visual en el buque : La integraci3n hombre-maquina como elemento de la seguridad a bordo. Tesis doctoral . Departamento de Medicina. Universidad de Oviedo.
- 58) Gibson T.; Seeing In The Dark [en linea] Invention & Technology Magazine. 1998. Vol.4. Fecha consulta: 1/16/2010. Disponible en: http://www.americanheritage.com/articles/magazine/it/1998/1/1998_1_46_print.shtml.
- 59) Giompama S. et al.; Naval target classification by fusion of IR and EO sensors. Conference Title: Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications. Proc. SPIE. 2007. October.

- 60) González F.J.; Noise measurements on optical detectors. Universidad Autónoma del estado de Mexico. Revista Mexicana de Física. . 2006. Mexico DF. Vol.52.
- 61) Gross K. ; Vallance H. ; Larson D.; Evaluation of night vision goggles for maritime search and rescue. U.S Coast Guard Research and Development Center. 1999. Octubre. USA. Rep. N° CG-D-07-00.
- 62) Gruben J.H. et al.; Scene-based algorithm for improved FLIR performance. En: Holst G.C. Infrared Imagini Systems: Desing,Analysys, Modeling and Testing Proceedings of SPIE. Vol. 4030-23.
- 63) Gunapala S.D. ; Rafol S.B.; Towards dualband megapixel QWIP focal plane arrays. California Institute of technology (Pasadena) USA. Infrared Physics & Technology. 2007. 50.
- 64) Hewish M.; Image is everything. Jane's International Defense Review. Num. 35.
- 65) Hill P.; A hot future awaist infrared imaging [en linea] Opto & Laser Europe 2001. Fecha consulta: 8/28/2005. Disponible en: <http://optics.org/cws/home>.
- 66) Hixson J.G. et al.; Target detection cycle criteria when using the Targeting Task Performance Metric. Proceedings of SPIE. 2004. Vol. 5612.
- 67) House D.J.; Ship-Handling-Manoeuvring and Mooring Operations. Seamanship Techniques: Shipboard and Marine Operations. Elsevier Butterworth-Heinemann. 2004. Pag. 608.
- 68) IMO; Piracy and armed robbery against ships. IMO. Ref.TI/13,01 MSC/Cir.623/Rev.3. 2002. Mayo.
- 69) Inframet; Review of infrared systems [en linea] . Fecha consulta: 12/19/2009. Disponible en: <http://www.inframet.pl/education.htm>.
- 70) Inframet; Testing thermal cameras [en linea] . Fecha consulta: 8/28/2009. Disponible en: <http://www.inframet.pl/testing.htm>.
- 71) International Technologies (LASERS) Ltd.; Mini N/SEAS [en linea] ITL Optronics. Isrrael. Fecha consulta: 12/13/2006. Disponible en: <http://www.itlasers.com/images/productImages/MININSEAS.pdf>.

- 72) Israel Aircraft Industries; Manual del usuario POP200 (confidencial) .
- 73) Jacobs E.L. et al.; FLIR range performance predictions using synthetic imageri. En: Holst G.C. Infrared Imagini Systems: Desing,Analysys, Modeling and Testing Proceedings of SPIE. Vol. 4030-16. 0.
- 74) Jaiswal A.K. ; Khare S.; MWIR versus LWIR range performance analysis. International Conference on Optics and Optoelectronics. 2005. Diciembre. Dehra Dun, India. .
- 75) John McHale; Scared of the dark?. Military&Aeroespace Electronics. .mar-05.
- 76) Jose de Grado Contreras; Termografía Infrarroja [en linea] Guia de Energía - Vector M. 1998. Junio. .Fecha consulta: 2/13/2006. Disponible en: www.energuia.com.
- 77) Kiyota Y. ; New applications of infrared CCD camera . Nikon Corporation. Proc. SPIE 1996. 2744.
- 78) Kopp C.; Electro-Optocal Systems [en linea] Australian Aviation -1984. 2005 .Fecha consulta: 6/16/2009. Disponible en: <http://www.ausairpower.net/>.
- 79) Kopp C.; Thermal imaging sensors . Defense Today - NCW-101 articles. Disponible en: www.defensetoday.org.
- 80) Krapels K. ; Driggers R. et al.; Performance of infrared systems in swimmer detection for maritime security. . Optics Express. 2007. Sep. USA. 15.
- 81) Kummer S.; All IR Cameras Are Not Created Equal [en linea] Raytheon Infrared.Fecha consulta: 8/29/2005. Disponible en: <http://www.photonics.com/Content/ReadArticle.aspx?ArticleID=18122>.
- 82) Kupferman P.N.; Handbook of microwave and opticals componenets - Infrared Techniques. Chang,Kai Editor.1990. USA. Vol. 3.
- 83) Lee D.; Thermal Imaging and the Maritime Law Enforcement Operator [en linea] Maritime Tactical Magazine. 2007. Nov/Dec. Fecha consulta: 5/15/2005. Disponible en: <http://www.marinetactical.com/about/>.
- 84) Lee D.; Night navigation in the most adverse weather conditions. Work Boat World. 2008. Septiembre.

- 85) Lohmann B.; Wang Y.; Multisensor imaging fusion: Concep, method and applications. Institute of Automation Technology (IAT) . Universidad de Bremen.
- 86) Markley T.B.; Navy Night Visión/Electro-Optics on the Threshold. Naval Engineers Journal. (106).
- 87) Marsh G.; Night Eyes. Maritime IT Electronics. Mar/Apr 2003. (8).
- 88) Mayes L.; Uncooled thermal imaging works round the clock. Engineering Technology. volume 5, No 9; Nov. 2003. Disponible en: <http://vzone.virgin.net/ljmayes.mal/pubs/uncooled.htm>.
- 89) McClay T. et al.; Evaluation of Night Vision Googles/Laser Illuminators for Maritime Search and Rescue. U.S. Coast Guard - U.S. Departement of Transportation. CG-D-36-95. Washington D.C.
- 90) McHale J.; Scared of the dark? Military & Aerospace Electronics. 2005. Marzo. Disponible en: www.milaero.com.
- 91) Meitzler T. ; Gerhart D. et el.; Comparasion of the performance of 3-5 and 8-12 μ M Infrared Cameras. SPIE. 1994. Abr.
- 92) Microsystems Technology Office; Infrared Focal Plane Array (IRFPA) [en linea] MTO-DARPA. Arlington, VA 22203-1712. . . Fecha consulta: 8/25/2005. Disponible en: <http://www.darpa.mil/MTO/Sensors/IRFPA/>.
- 93) Monfort J.; Electronic systems for night visión. UPC - Facultad de Náutica.
- 94) Morovision Night Vision, Inc.; Frequently asked night visión questions [en linea] Fecha consulta: 8/31/2005. Disponible en: <http://www.morovision.com/faqs.htm>.
- 95) Morovision Night Vision, Inc.; How Thermal Imaging Vision Works [en linea] Fecha consulta: 8/31/2005. Disponible en: http://www.morovision.com/how_thermal_imaging_works.htm.
- 96) Morovision Night Vision, Inc.; How Night Vision Works [en linea] Morovision Night Vision, Inc. Dana Point, CA 92629-0342. Fecha consulta: 8/31/2005. Disponible en: <http://www.morovision.com/hownightvisionworks.htm>.
- 97) NATO STANAG 4347; Definition of nominal static range performance for thermal imaging systems. NATO. . 1995. Julio.

- 98) Night Vision Technologies, Inc.; System utilized for Night Rescue [en línea] Irving, Texas. Fecha consulta: 8/4/2005. Disponible en: http://www.nvti-usa.com/en/News.html?item_id=14.
- 99) Night Vision Technologies, Inc.; Testimonial - Search and Rescue [en línea] Irving, Texas. Fecha consulta: 8/3/2005. Disponible en: http://www.nvti-usa.com/en/News.html?item_id=15.
- 100) Night Vision Technologies, Inc.; Night Vision Facts [en línea] Irving, Texas. Fecha consulta: 8/3/2005. Disponible en: <http://www.nvti-usa.com/en/technology.html>.
- 101) Offshore Support Journal; Night visión brings safety benefits for operators. Riviera Maritime Media Ltd. Offshore Support Journal. 2008. Dic. Dic,2008. 95. Disponible en: www.osjline.com.
- 102) Orlove G.; The top 10 questions people ask about infrared thermography [en línea] Infrared Training Center. Vol.1, Tema 8. Fecha consulta: 1/26/2006. Disponible en: www.infraredtraining.com.
- 103) Owen P.; Approval criteria for night visión equipment. Fast Ferry International. 1993. Octubre. 32.
- 104) Pollenh H.K.; Analysis of Field Test Comparing Second and Thir Generation Image Intensifier. Center for Night Vision and Electro-Optics. AMSEL-NV-TR-0069. 32417. nov-88. Fort Belvoir, VA.
- 105) Rabin J.; Forward-Looking Infrared: Capabilities for Search and Rescue. USA Aeromedical Research Laboratory. USA Aeromedical Research Laboratory (USAAARL) Report No.94-11. . . Fort Rucker, Al.
- 106) Reynolds C.; Electronic Image Intensification and Sensor Fusion [en línea] ITT Industries Night Vision. Roanoke, Va.- July 19, 2004. Fecha consulta: 8/3/2005. Disponible en: <http://www.nightvision.com/press/index.html>.
- 107) Reynolds W. ; et al.; Evaluation of Night Vision Goggles for Maritime Search and Rescue. U.S. Coast Guard - U.S. Department of Transportation. CG-D-14-90. Washington D.C.
- 108) Robe R.Q.; Plourde J.V et al.; Evaluation of Night Vision Goggles for Maritime Search and Rescue. U.S. Coast Guard - U.S. Department of Transportation. CG-D-13-92. Washington D.C.