

# Cámaras térmicas



*Nacidas en el ámbito militar y para aplicaciones específicas en esa área, la tecnología térmica es la evolución más reciente aplicada a cámaras de videovigilancia. La comparación entre las tecnologías existentes, el funcionamiento de las cámaras térmicas y conceptos para entender sus principios son parte de este informe.*

## INDICE

1. Tecnologías para visión nocturna
  - 1.1. Iluminación
  - 1.2. Energía emitida vs. Energía reflejada
  - 1.3. Equipos de visión nocturna
  - 1.4. Cámaras con iluminadores infrarrojos
  - 1.5. Cámaras térmicas
2. Funcionamiento de las cámaras térmicas
3. Imágenes de las cámaras térmicas
4. Componentes de las cámaras térmicas
  - 4.1. Detectores
    - 4.1.1. Detectores de estado sólido enfriado
    - 4.1.2. Detectores de bolómetro no enfriado
  - 4.2. Lentes
5. Comparativa entre las cámaras con detectores enfriados y no enfriados
  - 5.1. Detectores enfriados
  - 5.2. Bolómetros
6. Distancias o rangos de funcionamiento
  - 6.1. Cámaras enfriadas y no enfriadas
  - 6.2. Influencia de las condiciones atmosféricas
7. Fundamentos (*en la web*)

Las cámaras térmicas permiten visualizar la energía o calor emitido por un objeto que el ser humano no puede detectar a través de sus ojos, ya que esta energía es absorbida por los fluidos y la lente del mismo.

Estos equipos permiten ver la radiación térmica emitida por los objetos independientemente de las condiciones de iluminación, lo que las convierte una herramienta de seguridad muy efectiva, ya que facilitan la detección de intrusos o peligros potenciales.

Si bien existen distintas soluciones disponibles para ver en la oscuridad, las cámaras térmicas poseen algunas ventajas distintivas. Para entender las diferencias entre las distintas tecnologías es necesario entender como operan cada una de ellas así como sus ventajas y desventajas.

## 1. Tecnologías para visión nocturna

### 1.1 Iluminación

El método más utilizado para solucionar la falta de visibilidad nocturna es el empleo de lámparas de alta energía que generen suficiente luz visible para que los equipos funcionen.

La combinación de iluminación y cámara, sin embargo, tienen las desventajas de su alto costo y son poco prácticas en algunas aplicaciones, como las zonas costeras o pantanosas.

Si bien la iluminación tiene sus usos, es eficiente en áreas pequeñas y actúa de modo disuasivo, es necesario analizar en qué medida ayuda a los profesionales de la seguridad a ver lo que se requiere controlar.

### 1.2 Energía emitida vs. reflejada

Al igual que los seres humanos, las cámaras con iluminación infrarroja y los dispositivos de visión nocturna funcionan bajo el mismo principio básico: solo pueden ver la luz reflejada. Desafortunadamente, la capacidad del ojo o bien de una cámara está relacionada con la cantidad de luz disponible.

Durante la noche solo se dispone de las luces de las estrellas, la luna o iluminación artificial. Si no hay suficiente luz no se puede ver. Una limitación para los receptores de luz visible es el contraste. Como el ojo, las cámaras crean mejores imágenes si el objeto a visualizar tiene un buen contraste comparado con el medio que lo rodea. De no ser así, éste estará camuflado y no podrá detectarse.

### 1.3 Equipos de visión nocturna

La tecnología de visión nocturna funciona esencialmente de la misma manera que los otros sistemas, por lo cual presenta las mismas limitaciones que los sistemas convencionales de TV: dependen de la luz visible reflejada.

*Continúa en página 148*

Viene de página 144

Su funcionamiento se basa en receptores que amplifican la luz miles de veces de forma que los objetos se hacen visibles en la noche.

Una de las desventajas que presentan estos equipos es que la presencia de luz intensa puede saturarlos y reducir su performance.

Dado que la tecnología de visión nocturna requiere de un mínimo de luz para funcionar, condiciones tales como una leve niebla puede afectar su funcionamiento.



Imágen Infrarroja

#### 1.4. Cámaras con iluminadores IR

Para compensar el efecto de la falta de luz natural, algunas cámaras utilizan equipos iluminadores infrarrojos. Su distancia de cobertura es limitada ya que depende de la potencia del iluminador y la energía reflejada por el objeto a visualizar.

Otra desventaja que presenta este sistema es que su funcionamiento es afectado por la niebla.

Por otro lado, un intruso con una cámara sensible al infrarrojo puede ver el lugar cubierto por el iluminador y sortearlo.

#### 1.5. Cámaras térmicas

Esta tecnología, a diferencia de las cámaras de CCTV convencionales, no depende de la luz visible reflejada ni del contraste de los objetos. Esto se debe a que, normalmente, todos aquellos objetos que podemos ver a nuestro alrededor generan energía térmica, independientemente de las condiciones ambientales o de luz (*día o noche*).

Debe considerarse que todos los seres de sangre caliente, entre ellos el hombre, producen su propia energía térmica y por la tanto generan contraste.

Pequeñas diferencias de temperatura entre el blanco a detectar y su entorno, permiten generar imágenes de calidad tanto de día como de noche. A pesar de ello es necesario resaltar que estos equipos han sido diseñados para trabajar más eficientemente de noche.

Las cámaras térmicas disponibles en la actualidad son una alternativa a las cámaras de luz visible. No requieren iluminación especial ni infraestructura, no tienen limitaciones de distancia debido a la ausencia de luz solar y, como otro rasgo distintivo, son inmunes a la mayoría de los métodos de camuflaje.

### 2. Funcionamiento de las cámaras térmicas

Según los descripto anteriormente, estos equipos funcionan detectando y mostrando diferencias de energía térmica.

En los primeros sistemas, los detectores debían ser enfriados a temperaturas criogénicas (77° Kelvin o -196°C), con lo cual lograban diferenciar temperaturas en el orden de los 0,03 grados. Requerían que el operador cargara periódicamente las cámaras con nitrógeno líquido para llegar a la temperatura de trabajo mencionada.

Los equipos fueron evolucionando y los enfriadores de ciclo cerrado integrado aparecieron en escena, se crearon módulos autocontenidos con los enfriadores y detectores con una buena calidad de imagen.

Más adelante, en los años '90, aparecieron los detectores no enfriados, de lo cuales el más usado ha sido el microbolómetro. En sus principios, estos equipos poseían prestaciones limitadas en distancias. Luego del cambio del milenio,

compañías como *Flir* dieron un paso adelante con la creación de un dispositivo basado en el microbolómetro, logrando cámaras de alta performance, diseño compacto y bajo consumo.

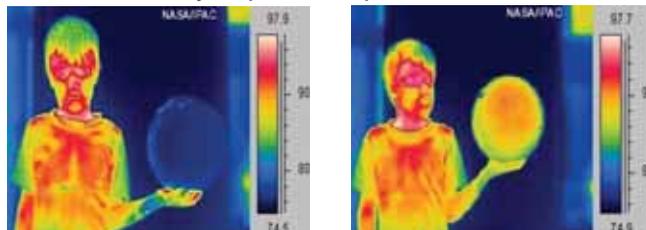
En este punto, la interrelación entre el bajo costo y alta calidad de los detectores produjo un impacto en el mercado, lo cual ha permitido la construcción de plantas de producción de mayor capacidad.

### 3. Imágenes de las cámaras térmicas

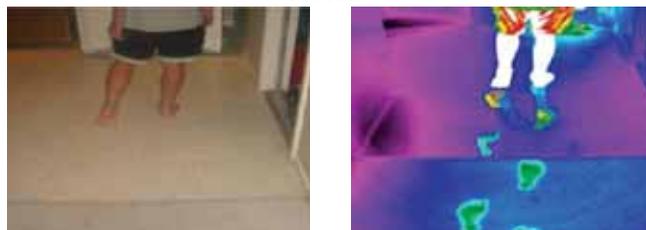
Las imágenes producidas por las cámaras térmicas son monocromáticas, ya que las mismas han sido diseñadas con un solo tipo de sensor, que responde a un rango del espectro IR. Algunas veces estas señales son procesadas de acuerdo a su intensidad para generar pseudo colores. Las partes más calientes del objeto visualizado son representadas por el blanco, las temperaturas intermedias por el amarillo y rojo y las más frías por el azul. En general, las cámaras térmicas aplicadas a la seguridad son monocromáticas

Se mostrarán a continuación algunas imágenes obtenidas por cámaras térmicas, las cuales podrán dar una idea del funcionamiento de las mismas

Antes y después de un partido de fútbol



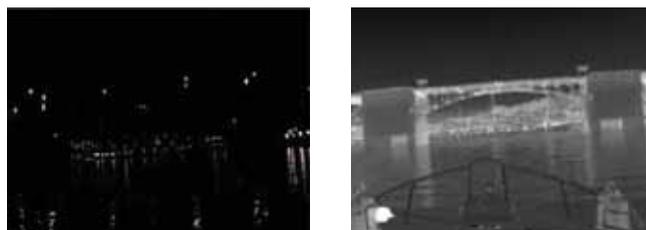
Pisadas



Vehículo recientemente conducido



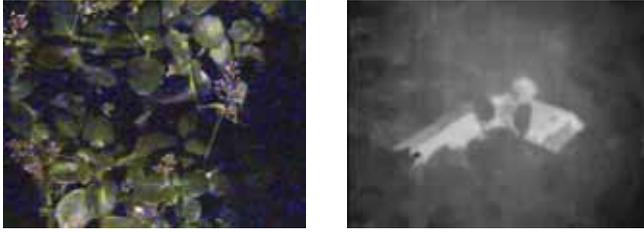
Escenario Nocturno



Continúa en página 152

Viene de página 148

Arma escondida en un arbusto



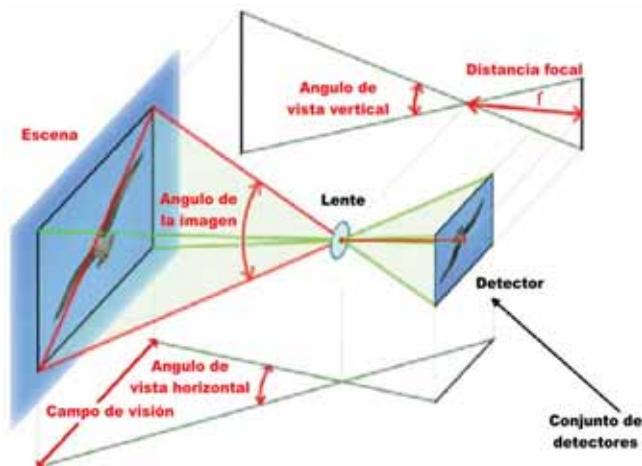
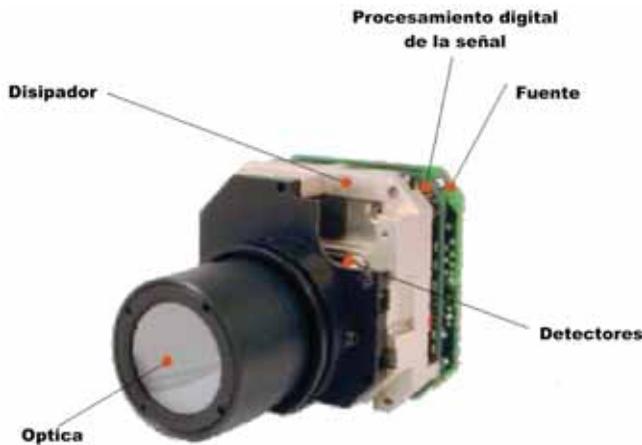
Visión a través de la bruma



#### 4. Componentes de las cámaras térmicas

Los componentes fundamentales de estos equipos son:

1. Detectores
2. Enfriadores
3. Circuitos de procesamiento de la imagen, que multiplexan y procesan la señal recibida de los detectores. Son conocidos como ROIC (del inglés Readout integrated circuit)
4. Lentes y filtros

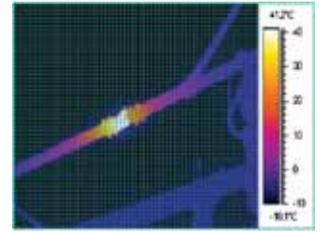


#### 4.1. Detectores

Es el elemento que convierte el flujo de luz IR en una señal eléctrica que puede ser medida y cuantificada. Las cámaras IR pueden utilizar dos tipos de detectores:

- De estado sólido enfriado
- Bolómetro no enfriado

En todos los casos, los detectores se posicionan formando un conjunto plano a la distancia focal del lente, llamado *FPA* (del inglés *Focal Plane Array*). Todos ellos ven simultáneamente una parte fija de una imagen mayor y pueden estar dispuestos en una o más capas (*layers*). La distancia entre dos sensores es llamado "*Pixel Pitch*".



Focal Plane Array

Los materiales usados en los detectores de las cámaras térmicas pueden ser:

- Antimoniuro de Indio (*InSb*)
- Arseniuro de Indio y Galio (*InGaAs*)
- Siliciuro de Platino (*PtSi*)
- Telururo de Mercurio y Cadmio (*MCT*)
- Oxido de Vanadio (*VOx*)
- Silicio Amorfo
- Quantum well infrared photodetector (*QWIP*)

Cada uno de ellos se utiliza según la banda IR de trabajo donde tiene mejor desempeño. La mayoría de los detectores no cubre el rango IR completo, de aproximadamente 900 a 1400nm. Por lo tanto, el detector debe ser seleccionado de acuerdo a la aplicación, ya sea considerando su respuesta a la longitud de onda como su sensibilidad

En la mayoría de las aplicaciones, una cámara debe ver la radiación IR de un objeto a través de la atmósfera, por lo cual los detectores deben poseer una curva de respuesta acorde a la ventana de baja atenuación atmosférica. Hay dos ventanas que cumplen con lo antedicho:

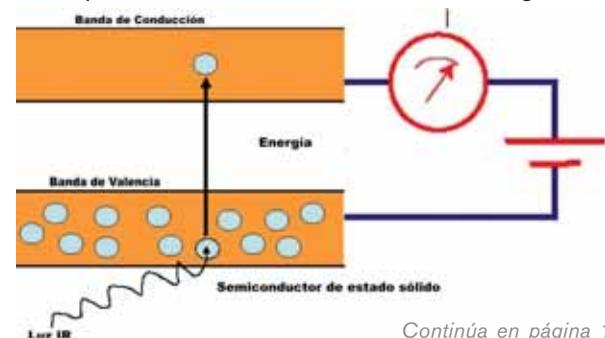
- Una en el rango de 2 - 5,6  $\mu\text{m}$ , correspondiente a la ondas infrarrojas cortas y medias
- Otra va desde los 8 a los 14  $\mu\text{m}$ , correspondiente a las ondas IR largas.

Dependiendo del tamaño/resolución, el conjunto de sensores de detección (*FPA*) tiene desde 60.000 a 1.000.000 detectores individuales. Para simplificar, en sistemas de seguridad, esto puede ser descrito como una matriz de dos dimensiones con resoluciones que van desde 160 x 120 a 640 x 480 píxeles.

##### 4.1.1 Detectores de estado sólido enfriado

Basados en el efecto fotoeléctrico, son semiconductores que expuestos a la luz IR producen variación de corriente proporcional a la cantidad de luz recibida.

Un esquema de funcionamiento básico es el siguiente:



Continúa en página 156

Viene de página 152

Los electrones son excitados por la luz IR pasando a la banda de conducción, lo cual genera un cambio en la conductividad, voltaje o corriente eléctrica del circuito.

Dado que a temperatura ambiente los electrones pueden ser excitados y pasar a la banda de conducción, generando ruido, estos detectores deben enfriarse a temperaturas criogénicas. De acuerdo al material con el que están contruados, esa temperatura puede variar, siendo el rango típico de 4K a 110K y el valor más común de 80K.

Los primeros equipos utilizaron nitrógeno líquido para enfriar los detectores, aunque más tarde aparecieron otros métodos.

En 1986, AGEMA presentó su enfriador de efecto Peltier, apto para aplicaciones en las que se necesitaba mayor sensibilidad y se desarrolló una solución eléctrica, el enfriador criogénico de Stirling.

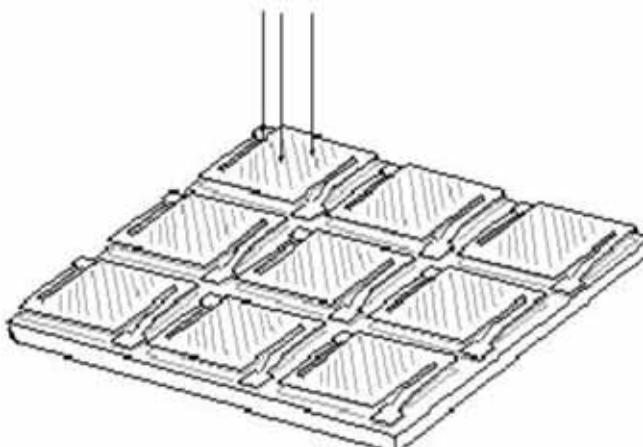
Independientemente del método de enfriamiento, el conjunto de detectores (FPA) es fijado al lado frío del enfriador de forma tal que permita un intercambio eficiente del calor. Debe considerarse además, que el conjunto de detectores (FPA) es pequeño, por lo que el área de contacto con el enfriador también lo es.

Las cámaras que utilizan sensores refrigerados requieren un tiempo de enfriamiento antes de entrar en operación. Si bien son más costosas, ofrecen mejor calidad de imagen que las no enfriadas.

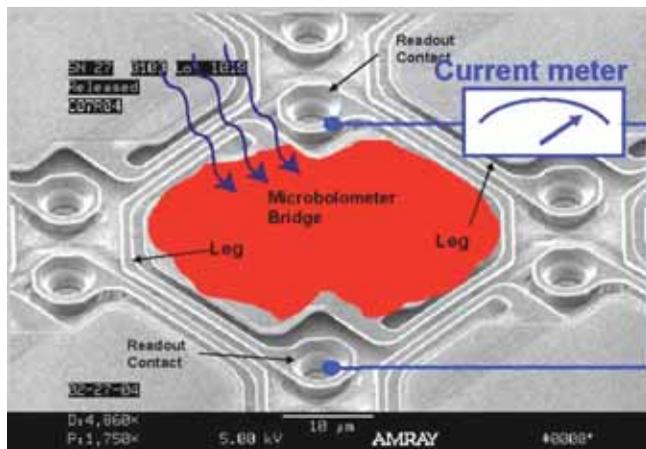
Un elemento a tener en cuenta es que los detectores individuales tienen una ganancia diferente para una misma excitación. En otras palabras, la respuesta de cada uno de ellos es diferente para la misma luz IR. Se suma a esto el hecho que la salida de los detectores es distinta para una excitación nula en el IR. Estas desviaciones de ganancia y offset deben ser compensadas para obtener una imagen coherente, trabajo que es realizado por el software de la cámara. Como resultado, la imagen termográfica refleja en forma detallada las temperaturas relativas en el objeto, por lo que actualmente las temperaturas pueden ser calculadas con una gran exactitud.

#### 4.1.2. Detectores de bolómetro no enfriado

Funcionan a temperatura ambiente. Son arreglos de rectángulos pequeños apoyados en pequeñas patas que los aíslan térmicamente. Estos rectángulos, contruados de óxido de vanadio o silicio amorfo, cambian su resistencia eléctrica con la incidencia de luz IR.



En la siguiente figura se puede apreciar un conjunto actual junto con esquema de funcionamiento:



Los microbolómetros son calentados directamente por la energía de los rayos infrarrojos de la banda larga de 8 a 12 micrómetros. La temperatura causa una variación de la resistencia proporcional a la energía IR recibida. Estos cambios son medidos y procesados para formar la imagen de la cámara.

Por el momento, los conjuntos FPA se encuentran en dos tamaños: de 320x240 píxeles y, más económico, de 160x120 píxeles. Actualmente se está trabajando en dispositivos de 640x480 píxeles.

#### 4.2. Lentes

Los materiales con los cuales se construyen las lentes para las cámaras térmicas deben ser transparentes para el IR. Como esto no ocurre con el vidrio, se utilizan los siguientes materiales:

- Germanio
- Silicio
- Seleniuro de zinc

Los parámetros a considerar en los lentes son:

- Distancia focal
- Campo de visión que define el tamaño del objeto a una distancia de la cámara
- Apertura / velocidad
- Diámetro del objetivo

### 5. Comparativa entre las cámaras con detectores enfriados y no enfriados

#### 5.1. Detectores enfriados

Para aplicaciones con mayores demandas, los detectores enfriados son los adecuados. Pueden reaccionar más rápidamente a los cambios en nivel del IR (temperatura), siendo su tiempo de respuesta de 1 microseg. Debido a esta característica, estas cámaras pueden utilizarse para registrar eventos térmicos transitorios.

La desventaja de las cámaras enfriadas es su alto costo, tanto de producción como de mantenimiento. El proceso de enfriado implica consumo de energía, lo cual da como resultado un mayor consumo total comparado con un equipo no refrigerado. Por otro lado, la cámara requiere de un tiempo antes de entrar en servicio luego de conectarse.

A pesar de su mayor costo y tamaño, las cámaras enfriadas generan una imagen de calidad superior que las no enfriadas.

Una figura de mérito de la cámara térmica es la mínima diferencia de temperatura que puede detectar en un objeto

Continúa en página 160

Viene de página 156

(NEDT, del Inglés *Noise Equivalent Temperature Difference*), usualmente cuantificada en miligrados Kelvin.

Por ejemplo, para una cámara con detectores enfriados de InSB este valor es < 25mK y para una QWIP es <35 mK. Típicamente los detectores bolométricos tienen una figura NEDT de 80-200 mK

## 5.2. Bolómetros

La mayoría de las cámaras IR utilizan detectores del tipo microbolómetros, principalmente debido a su precio. Dado que estas cámaras no requieren enfriamiento, permiten construir equipos más pequeños y por lo tanto más económicos. Adicionalmente, estos detectores son más sencillos de construir lo cual impacta en su costo.

Las características de los bolómetros son:

- Baja sensibilidad, curva de respuesta plana y bajo tiempo de respuesta (aproximadamente 12 mseg).
- Trabajan en el espectro de 8  $\mu\text{m}$  a 13  $\mu\text{m}$ , por lo cual poseen una mejor penetración al humo, bruma, polvo, vapor de agua.
- Son más pequeños y menos pesados que los equipos enfriados, mas aún para aplicaciones de rangos de detección limitados.
- Proveen salida de video en forma inmediata luego de conectarse
- Menor consumo comparado con los equipos enfriados
- Bajo índice de fallas

Como conclusión se puede decir que los equipos no enfriados ofrecen menor sensibilidad que los detectores enfriados y no son aptos para ser utilizados en aplicaciones multiespectrales o de alta velocidad.

## 6. Distancias o rangos de funcionamiento

Para determinar el rango de trabajo de una cámara térmica es necesario considerar el tipo de cámara utilizada, el tipo de lente, la naturaleza y tamaño del objeto a ser detectado, las condiciones atmosféricas y, por último, definir como localizamos el objeto.

Para definir qué significa localizar un blanco, se puede usar el criterio de Johnson. Si bien este criterio fue elaborado para usos militares, actualmente es usado en el mercado para caracterizar los sistemas de imágenes térmicas.

De acuerdo a este criterio debe hacerse una distinción en los grados de localización de un blanco:

- **Detección:** Para determinar si un objeto está presente a no, sus dimensiones críticas deben ser cubiertas por 1,5 o más píxeles
- **Reconocimiento:** Se define como la capacidad para determinar qué tipo de objeto es. Esto significa que se puede distinguir entre una persona, un automóvil, camión o cualquier otro objeto. Para reconocer un objeto se requieren al menos 6 píxeles a lo largo de sus dimensiones críticas.
- **Identificación:** Este término es usado en el mundo militar y se define como aquel que permite determinar si alguien es amigo o enemigo. Para ello las dimensiones críticas del objeto deben cubrirse por lo menos por 12 píxeles

Sin ahondar mucho en el tema, diremos que, según el criterio Johnson, el tamaño crítico de un humano adulto es de 0,75 mts.

Un parámetro importante que determina cuan lejos se puede ver con una cámara, es la distancia focal del lente. Esta define el ángulo de vista instantáneo de la cámara (IFOV) que

es el ángulo que ve un píxel, y por lo tanto el menor ángulo que puede ser resuelto por el sistema (siempre que exista buen contraste térmico). EL IFOV, por lo tanto, determina a qué distancia un blanco de dimensiones críticas determinadas puede ser detectado, reconocido o bien identificado.

Surge de lo antedicho que a mayor distancia focal menor es el IFOV, por lo cual mayor es la cantidad de píxeles en el blanco a una distancia determinada.

En aplicaciones de seguridad, donde se requieren cubrir grandes distancias, como en las fronteras, son necesarios pequeños IFOV puesto que deben detectar objetos a varios kilómetros.

Como contrapartida, a mayor distancia focal menor el campo de visión.

## 6.1. Cámaras enfriadas y no enfriadas

Consideremos una cámara enfriada típica, que tiene un espacio entre centro de los píxeles de 15 micrones. Un lente de 500mm en estas cámaras da un IFOV de 30 micro radianes. Si usamos un objeto de una dimensión crítica de 0,75 metros, como la de un ser humano, este generará una imagen de 12 píxeles a 2,1 kilómetros, por lo cual podrá ser identificado.

Una cámara típica no enfriada tiene sus sensores distanciados entre su centro a 38 micrones. Por este motivo, una lente de 500 mm en esta cámara permitirá identificar un objeto a 0,8 Km. Mas allá de lo dicho, un lente de 500 mm para una cámara no enfriada es impracticable. En la práctica, el lente con mayor distancia focal para cámaras no enfriadas es de 367mm, lo cual da un rango de identificación de aproximadamente 600 metros.

Conclusión: para aplicaciones de rangos altos es aconsejable utilizar cámaras enfriadas.

## 6.2. Influencia de las condiciones atmosféricas

Si bien las cámaras térmicas pueden ver en la oscuridad total, bruma, lluvia y nevada no intensas, los alcances pueden ser afectados por las condiciones atmosféricas.

En resumen, las distancias a las que se puede ver con una cámara térmica depende de varios factores: ambientales, naturaleza del objeto, entorno y la combinación de la lente y tipo de cámara elegidas. ☒

*Información adicional sobre este tema puede descargarse desde nuestra web: [www.rnds.com.ar](http://www.rnds.com.ar)*

## 7. Fundamentos

- 7.1 El espectro electromagnético
- 7.2 El espectro infrarrojo
- 7.3 El calor y la radiación térmica
- 7.4 Características de la radiación térmica
  - 7.4.1 La ley de Planck
  - 7.4.2 Ley de Stefan-Boltzmann
  - 7.4.3 Ley de Wien
  - 7.4.4 Emisividad
- 7.5 Algunas consideraciones
  - 7.5.1 Absorción Atmosférica
  - 7.5.2 Absorción Atmosférica en el IR

*Para la elaboración de este informe agradecemos la colaboración del Ing. Claudio Prado Southern Cone Sales Manager de International Security & Trading Corp.*