

## 12. CÁMARA Y ÓPTICA

El punto de partida de todo sistema de percepción visual siempre es la captación de una imagen. Este proceso implica la utilización de algún tipo de sensor sobre el que se obtendrá la representación de la escena que aparece ante él. En los sistemas de visión artificial son las cámaras los dispositivos encargados de captar la información luminosa de la escena a través de la óptica y transmitirla al computador como señales analógicas o digitales. En este capítulo se abordan las distintas tecnologías existentes en los sensores y las ópticas para los sistemas de visión.

### 12.1 CÁMARAS

Las cámaras han sido uno de los elementos que más han evolucionado desde la aparición de los primeros sistemas de visión artificial. La sustitución de la tecnología termiónica de los tubos de vidicon a finales de los ochenta por la tecnología de estado sólido supuso una revolución en los sensores que ha impulsado en gran medida las prestaciones de los sistemas de visión actuales. Las cámaras industriales modernas son compactas, ofrecen un control total sobre el disparo de captura de imagen, presentan obturadores electrónicos de alta velocidad y disponen de una gran sensibilidad. Opciones que hace unos años eran muy extrañas se han vuelto comunes en la actualidad como la alta resolución y las cámaras progresivas que permiten una adquisición nítida de objetos en movimiento.

En primer lugar veremos que cuando nos referimos a una cámara de un sistema de visión hay una serie de parámetros que es preciso conocer como:

- **Resolución:** Hace referencia al número de elementos sensibles de la cámara. Define por tanto la frecuencia espacial con que es muestreada la imagen continua que proyecta la óptica sobre el sensor. Si se desea apreciar detalles muy finos en la imagen la resolución de la cámara

deberá ser grande. Como regla general, la resolución de la cámara debe ser tal que el detalle más pequeño que se pretenda detectar ocupe al menos dos píxeles en la imagen. Cuanto mayor sea la resolución del sensor, mayor será la fidelidad de la imagen pero también mayor será el coste de adquisición de la cámara y el coste computacional que se precisará para analizar una imagen que será de más tamaño. Las cámaras de alta resolución proporcionan una definición que puede ir desde los 1024 x 1024 hasta los 4000 x 4000 píxeles actualmente.

- **Sensibilidad** La señal de salida de una cámara es una señal continua de voltaje que se genera a partir de la cantidad de luz incidente. La sensibilidad del sensor es la relación entre la magnitud del voltaje de salida y la cantidad de luz de entrada. De cualquier forma, hay que tener en cuenta que la sensibilidad de un sensor no es igual para cualquier longitud de onda de la luz incidente. Los sensores normales son sensibles al espectro visible aunque su sensibilidad se extiende hasta los 1000 nm. (infrarrojo cercano). Existen sensores especiales que tienen otra sensibilidad espectral, por ejemplo, los sensores que equipan las cámaras termográficas que son sensibles a longitudes de onda por encima de los 2000 nm. y pueden determinar la temperatura de los cuerpos en la imagen a partir de la radiación infrarroja captada.

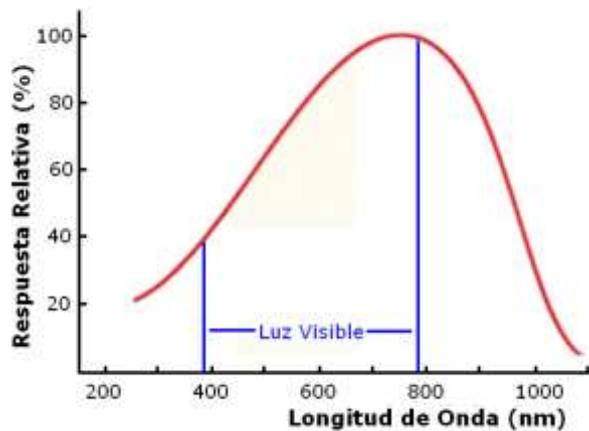


Figura 1: Curva de sensibilidad de un sensor estándar. La zona de sensibilidad abarca no sólo el espectro visible sino que alcanza hasta los 1000 nm. aproximadamente. Algunas cámaras, especialmente las de color, montan filtros que bloquean las longitudes de onda a partir de 780 nm. para evitar que la entrada de infrarrojo cercano distorsione los colores.

- **Ruido.** Se denomina ruido a las interferencias que por diversos motivos aparecen en la señal de video. Podemos considerar el ruido como la

salida que proporciona la cámara cuando sobre esta no incide nada de luz. El volumen de estas perturbaciones puede cuantificarse mediante la relación señal/ruido que se expresa en decibelios.

$$\text{relacion señal/ruido} = 20 \log(S/N).$$

Por ejemplo una relación S/N de 60 dB quiere decir que la amplitud media de la señal de video es 1000 veces mayor que la amplitud media del ruido.

- **Blooming (floreCIMIENTO)** Cuando se expone un sensor a una fuente de luz muy intensa, sobre los fotosensores se genera tal exceso de carga que desborda su capacidad y afecta a los píxeles vecinos (especialmente a los vecinos verticales debido a razones estructurales de los sensores). De esta forma una fuente puntual de luz aparecerá en la imagen distorsionada por un área mucho mayor que la que tiene en la realidad.
- **Rango dinámico.** El rango dinámico se define como la relación entre el nivel de saturación de los píxeles y el nivel mínimo de señal.



Figura 2: Con el abaratamiento de las cámaras y el aumento de la potencia de cálculo de los procesadores son frecuentes los sistemas multicámara que permiten inspeccionar varias facetas del producto.

### 12.1.1 Sensores CCD y CMOS

El sensor es el elemento fotosensible de la cámara. A partir de la imagen proyectada sobre él se genera una señal de voltaje proporcional a la cantidad de luz incidente. En los últimos años el sensor que más se ha utilizado es el sensor basado en tecnología **CCD** (*Charge Coupled Device*). La estructura del CCD esta formada por una matriz<sup>1</sup> de fotodiodos organizados en las direcciones vertical y horizontal que transforman la imagen óptica en señales eléctricas. Los CCD tienen una buena relación señal-ruido, pero cuando se trabaja con escenas con zonas muy luminosas o brillantes presentan problemas de *blooming*.

Desde hace años se están comercializando otro tipo de sensores que presentan un enorme potencial de desarrollo, los sensores **CMOS** (*Complimentary Metal Oxide Semiconductor*). Los CMOS tienen muy buenas propiedades dinámicas pues presentan la capacidad de acceder solamente a regiones de interés (ROI) en el sensor, no adolecen de los efectos del *blooming* (con un sensor CMOS se pueden llegar a leer los caracteres de un fluorescente iluminado) y debido a su proceso de fabricación son más baratos que los CCD. Sin embargo, los sensores CMOS actuales todavía no han superado la relación de señal-ruido y el buen comportamiento con poca luz que presenta la mucho más desarrollada tecnología CCD.

La forma de transformar la luz que incide en el sensor en una señal eléctrica es distinta en un CCD y en un CMOS. En los CCD, la carga de cada píxel se convierte en un voltaje puntual que al ser leído por líneas completas es transferido como una señal analógica. En un sensor CCD, la conversión de carga a voltaje se lleva a nivel de píxel lo que entre otras cosas origina una salida más rápida aunque menos uniforme.

Si establecemos una comparación entre las prestaciones de la tecnología CCD y de la CMOS actualmente se puede decir que los CCD ofrecen una mejor calidad de imagen. Los sensores CCD tienen un mejor rango dinámico porque tienen menos circuitería en el chip lo que reduce el ruido e incrementa la sensibilidad del sensor. También los CCD superan a los CMOS si comparamos la *uniformidad*, que hace referencia a la consistencia en la respuesta de los diferentes píxeles ante la misma iluminación de entrada. Los sensores CMOS son menos uniformes que los CCD porque contienen más circuitería en el

---

<sup>1</sup> No todas las cámaras presentan una distribución matricial en los elementos fotosensibles. Existe un tipo de cámaras muy específicas que presentan los foto-receptores formando una única línea. Estas cámaras se denominan lineales y se emplean para inspeccionar material continuo en movimiento.

sensor y por tanto están expuestos a variaciones de esta entre los píxeles del sensor. Los CMOS más modernos incorporan una realimentación a los amplificadores para compensar estas variaciones, pero esta sólo funciona bien con buenas condiciones de iluminación. Los CCD tienen una mejor uniformidad debido a la carencia de amplificación en el sensor.

Sin embargo los CCD no alcanzan a los CMOS en cuanto a la *velocidad de operación*. Los sensores CMOS son más rápidos porque la señal de video no tiene que ser secuenciada para enviarla a otros elementos.

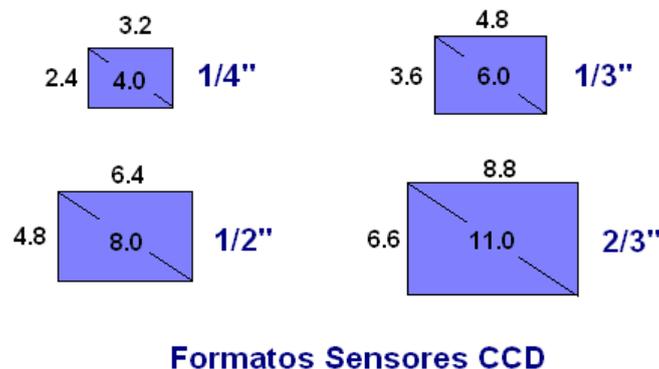


Figura 3: Existen distintos formatos de sensores matriciales tanto en tecnología CCD o CMOS. La relación ancho:alto es en todos los casos 4:3 pero los tamaños pueden variar. Estos se expresan en pulgadas, siendo los más comunes de 1/3'' y 1/2''. Estos tamaños no se corresponden como cabría esperar con la magnitud de la diagonal del sensor. Esto es debido a que dichos formatos proceden de las antiguas cámaras de TV de Vidicon cuyo sensor ocupaba aproximadamente un 60% más del tamaño de la zona realmente sensible.

### 12.1.2 cámaras de color

Existen aplicaciones industriales donde resulta muy conveniente el empleo de **cámaras en color**. Para trabajar en color existen dos tipos de cámaras. Las cámaras de un solo chip que incorporan filtros ópticos de mosaico, que constituyen la opción más barata para captar información en color, y las cámaras *triCCD*, más sofisticadas. Las cámaras *triCCD* usan un sistema de cámara en color de 3 chips: la óptica divide la imagen que entra en tres imágenes en color separadas, cada una de ellas con su propio sensor. Las cámaras en color de 3 chips cuestan más pero ofrecen mejor respuesta de señal-ruido y tienen mejor resolución espacial y cromática. Las *triCCD* no obstante se han abaratado mucho en los últimos años y ya se empiezan a ver incluso en

cámaras de video domestico a precios muy accesibles. Tienen como inconvenientes frente a las monoCCD, además de su coste, que precisan de más luz y la necesidad de lentes especiales.

### 12.1.3 Cámaras lineales y matriciales

Según la disposición de los elementos fotosensibles del sensor, las cámaras pueden ser **matriciales** si los píxeles presentan una disposición bidimensional o bien **lineal** si estos están dispuestos formando una recta. En la mayoría de las aplicaciones se utilizan las primeras debido a la naturaleza bidimensional de las escenas a inspeccionar. Las cámaras lineales sólo son adecuadas en aquellas aplicaciones donde debe inspeccionarse material continuo y en movimiento como papel, tela, plástico, chapa laminada, etc. Con la adquisición continua línea a línea del material que fluye bajo la cámara se va construyendo la imagen bidimensional a analizar.

Las cámaras lineales son las únicas que pueden llevar a cabo la inspección en líneas de fabricación continua de alta velocidad. En líneas de fabricación de papel, que pueden tener 2,5 metros de ancho y trabajar con velocidades de producción en torno a 20 m/seg., si se quiere detectar defectos de 2 mm. hay que tomar al menos 20.000 líneas/seg (es preciso disponer al menos del doble de resolución que el tamaño del defecto).

Las cámaras lineales permiten alcanzar en las aplicaciones una mayor resolución y velocidad que las matriciales. Se pueden encontrar sensores lineales entre 512 y 8192 elementos. Cuando se requiere mayor resolución será preciso colocar tantas cámaras como sean necesarias para cubrir el ancho del material a inspeccionar con la resolución requerida.

La velocidad de lectura del sensor en las cámaras lineales es mucho más alta que en las cámaras matriciales superando los 200 MHz (200 millones de líneas por segundo). Para poder alcanzar estas velocidades, las cámaras lineales modernas son digitales. Debido también a estas altas velocidades de adquisición hay que tener en cuenta que los sistemas con cámaras lineales precisan de una potente iluminación que proporcione una imagen clara con poco tiempo de exposición.

Cuando la velocidad de desplazamiento del objeto varía es preciso hacer un seguimiento de esta para llevar a cabo una toma de imágenes acorde con la velocidad. Una toma de imágenes uniforme en una cinta con velocidad variable genera imágenes distorsionadas (aplastadas o alargadas). Por ello los sistemas

con cámaras lineales poseen casi siempre algún dispositivo de seguimiento de la velocidad de avance del material (generalmente un encoder anclado al eje de la cinta transportadora) que va generando señales de disparo acordes con la velocidad del material.

Aunque la gran mayoría de las aplicaciones con cámaras lineales son sistemas monocromos, hay que señalar que también existen en el mercado cámaras lineales de color que permiten llevar a cabo la inspección de detalles en color sobre productos continuos a alta velocidad (papel impreso, telas, etc).

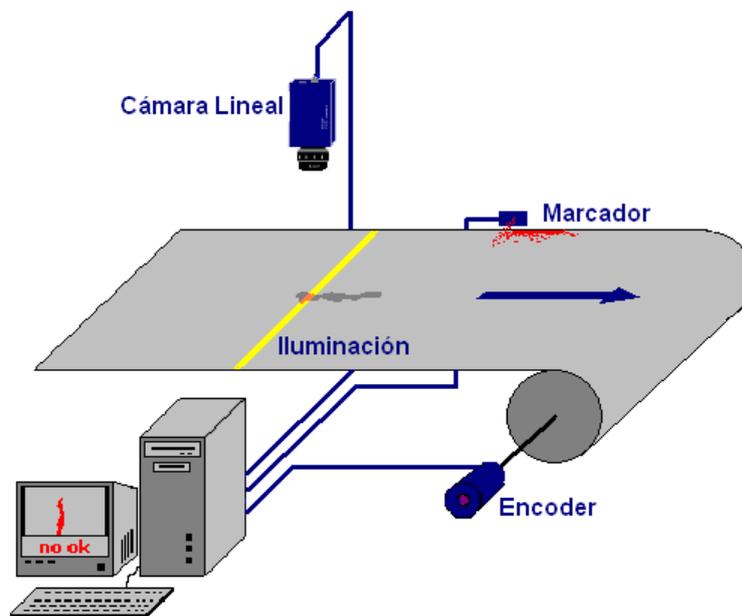


Figura 4: los sistemas con cámaras lineales integran algún dispositivo de seguimiento de la velocidad de avance del material (generalmente un *encoder* anclado al eje de la cinta transportadora) que va generando señales de disparo acordes con la velocidad del material.

#### 12.1.4 Cámaras matriciales para aplicaciones de alta velocidad

En los formatos de televisión estándar europeos (CCIR para monocromo y PAL para color) las imágenes son capturadas a una velocidad de 25 cuadros por segundo. El vídeo entrelazado está constituido por dos campos: el campo par, formado por las líneas de vídeo horizontales pares y el campo impar, constituido por las líneas de vídeo horizontales impares. Estos dos campos

horizontales son rastreados secuencialmente a una velocidad de 50 campos por segundo para generar los 25 cuadros completos por segundo.

En aplicaciones industriales de visión artificial, donde normalmente los productos se desplazan rápidamente, la utilización de **cámaras de vídeo entrelazado** hace que el objeto aparezca borroso. La imagen completa se genera a partir de dos exposiciones separadas 1/50 segundos correspondientes a cada uno de los campos. Para evitar este efecto, las cámaras de vídeo entrelazado permiten ajustes para adquirir en modo campo o no entrelazado que consiste en la pérdida de la mitad de la resolución vertical, eso sí permitiendo la adquisición de 50 cuadros por segundo.

No obstante, si en una aplicación de alta velocidad se precisa de la resolución vertical completa se debe recurrir a una cámara progresiva. En una cámara progresiva la imagen completa, es rastreada simultáneamente, de una vez, no en dos pasadas como en las cámaras de TV tradicional. El resultado es un vídeo no entrelazado con resolución vertical completa, lo cual es lo propio para capturar imágenes de objetos en movimiento con la máxima resolución.

Queda claro que **cámaras progresivas** son mucho más adecuadas para las aplicaciones de visión artificial que los modelos entrelazados. No obstante, también son más caras porque los sensores CCD que se fabrican a gran escala son los de tipo entrelazado, destinados al mucho más amplio mercado de vídeo doméstico y vídeo vigilancia.

Cuando se trabaja con objetos que se desplazan rápidamente hay que considerar también otro parámetro: el **tiempo de exposición** o velocidad del obturador electrónico (*shutter*) que hace referencia a la cantidad de tiempo que debe exponerse escena al sensor para formar la imagen. Para capturar escenas en movimiento el tiempo de exposición debe ser mínimo. Si no se emplea un **tiempo de exposición** suficientemente bajo, las imágenes aparecerán borrosas aunque se adquieran con una cámara progresiva. No obstante, hay que tener en cuenta que reducir el tiempo de exposición supone también reducir en la misma medida la cantidad de luz que llega al sensor. Cuando se empleen tiempos de obturación bajos será preciso disponer de una iluminación de gran intensidad.

En aplicaciones especialmente exigentes, donde los objetos se desplazan dentro del campo visual de la cámara a muy alta velocidad, será preciso que el sensor además de *shutter* tenga la posibilidad de **captura asíncrona** (*random shutter*). La captura asíncrona libera el obturador electrónico en el mismo instante en que la cámara recibe la señal de disparo externa. Las cámaras de TV estándar sin captura asíncrona emplean una sincronización que sólo permite

liberar el obturador cada  $1/50$  mseg, cuando llega la señal de sincronismo vertical (suponiendo el estándar CCIR que tiene 50 campos/seg.). Con esta sincronización, la posición en la imagen de objetos que se desplazan rápidamente oscilará pues la captación de imagen sufrirá retrasos aleatorios, que puede llegar hasta  $1/50$  segundos, dependiendo del estado de la señal de sincronismo vertical.

En aplicaciones donde el campo de visión es muy ajustado al tamaño del objeto, este quedará, al menos parcialmente, fuera del campo visual de la cámara debido al retraso en la espera del sincronismo vertical. En estos casos es imprescindible la función de captura asíncrona para llevar a cabo la adquisición de la imagen en el instante preciso de llegada del disparo, independientemente del estado de la señal de sincronismo vertical.

Si la aplicación requiere de la **captura de un gran número de imágenes por segundo** existen varias posibilidades para disminuir el tiempo de lectura de la imagen.

- **Binning:** Con esta técnica se aumenta la velocidad de lectura a base de reducir el número de líneas verticales leídas en el sensor. Cada par (o más) de líneas en el sensor origina una única línea de salida generada como la suma de ambas. De esta forma aunque se baja la resolución también la combinación de varias líneas disminuye el efecto del ruido y mejora por tanto la relación S/N.
- **Doble velocidad:** las cámaras de doble velocidad duplican la velocidad del reloj para así duplicar la velocidad de lectura del sensor.
- **Lectura parcial:** En lugar de leer la imagen entera en el sensor, se puede realizar una lectura parcial reduciendo el tiempo lectura proporcionalmente a la parte de la imagen no leídas. Se trata de leer solamente un determinado número de líneas contiguas que sea suficiente para el procesamiento de la escena. Esta técnica resulta especialmente eficaz cuando se trata de procesar objetos largos y delgados que se encuentran en posición horizontal.

### 12.1.5 Cámaras digitales

Las antes omnipresentes cámaras de naturaleza analógica han sido desplazadas por las **cámaras digitales** industriales siguiendo la misma evolución experimentada que las cámaras de vídeo doméstico. Las cámaras

digitales emplean la misma tecnología en el sensor que los modelos analógicos pero incorporan un convertidor analógico-digital dentro de la cámara que transforma los valores analógicos de tensión del sensor a una señal digital. Son una opción muy atractiva porque evitan la degradación analógica de la señal y en la actualidad presentan unos precios muy asequibles (desde 200 € aprox.).

Para la transmisión de imágenes digitales desde la cámara al sistema informático existen varios interfaces:

- **Camera link.** Se trata de un interfaz paralelo que ofrece una alta velocidad de transmisión, en torno a 2 Gbps. Sin embargo es el más caro (un cable por ejemplo cuesta cientos de euros) y el que mayores problemas presenta en la integración puesto que entre los productos Camera link (cámaras, cables, *frame grabbers*,...) no hay un estándar. Debido a estos serios inconvenientes el interfaz Camera link está siendo desplazado por los interfaces serie firewire, USB y GigE.
- **Firewire.** Se trata de un interfaz estándar presente en los ordenadores personales. No requiere *frame grabber*. Por estas razones presenta gran facilidad en la integración y tiene un coste muy reducido (un cable *Firewire* para conectar una cámara directamente con un PC se encuentra en cualquier tienda de informática de consumo por menos de veinte euros). En la actualidad se trata de la opción más recomendable para la mayoría de las aplicaciones de visión artificial.
- **USB.** Aunque también esté presente en cualquier ordenador personal no tiene las atractivas características del *Firewire*. El interfaz USB requiere de la participación de la CPU en la transmisión lo que supone una carga para las prestaciones del sistema de visión. Sin embargo, el interfaz Firewire no precisa de la intervención de la CPU que queda así íntegramente dedicada al procesamiento de imagen.
- **GigE.** El interfaz *Ethernet de Gigabit*, *GigE*, presenta unas características muy atractivas por su alta velocidad y bajo coste derivado de su extendido uso en redes de ordenadores. Otra de las ventajas es su capacidad para transmitir a largas distancias (hasta cien metros frente a la decena de metros en que tiene el límite como mucho un interfaz *Firewire*). Por ello, la *Ethernet de Gigabit* como estándar interfaz de cámaras ha comenzado a desarrollarse con rapidez.

### 12.1.6 Cámaras inteligentes

Otro tipo de cámaras que han irrumpido con fuerza en los últimos años en el mercado son las **cámaras inteligentes**. Son cámaras que, aparte de disponer del sensor y la electrónica para su lectura y transmisión, incorporan un procesador, memoria y puertos de comunicación con el exterior y constituyen

en sí un sistema de visión completo. En una cámara inteligente se encuentran integrados todos los componentes: sensor, digitalizadora, procesador, salida video, entradas-salidas, Ethernet o RS232. Existen cámaras de este tipo con distintas prestaciones: entrelazadas, progresivas, alta resolución, color, etc.

Las cámaras inteligentes están conquistando muchas aplicaciones pues a menudo constituyen la opción más competitiva al evitar la adquisición de un PC, la correspondiente digitalizadora, la tarjeta de E/S, el cableado, etc. El precio de una cámara inteligente oscila entre 600 y 6.000 € dependiendo de la resolución y potencia de cálculo.

## 12. 2 ÓPTICAS.

Una vez seleccionada la cámara, es preciso determinar qué óptica será la más adecuada. Las cámaras siempre van equipadas con una óptica que hace que la escena se proyecte enfocada sobre los elementos fotosensibles. La elección de los parámetros más adecuados para la óptica es sencilla pues depende básicamente del campo visual que se desee y de la distancia de la cámara a la escena. No obstante, es preciso conocer algunos conceptos fundamentales que pueden incidir muy significativamente en el funcionamiento de una aplicación de inspección industrial.

Un objetivo está integrado por un conjunto de lentes encapsuladas y presenta dos parámetros que lo caracterizan:

- La distancia focal  $f$  que se expresa en milímetros y puede ser fija o variable (zoom).
- El otro valor es su número  $F$ , esto es, la cantidad máxima de luz que deja pasar.

La distancia focal establece el campo visual que se obtiene a una determinada distancia del objetivo. Las lentes con *zoom* ofrecen una mayor flexibilidad en este aspecto pero frente a una lente de distancia focal fija tienen los inconvenientes de una pequeña pérdida de definición, menor eficiencia en la transmisión de luz (mayor  $F$ ) y mayor costo (aprox. 300 € frente a los aprox. 200€ de un objetivo normal).



Figura 5: En aplicaciones industriales, donde es especialmente importante la robustez mecánica, las lentes deben presentar tornillos para fijar el enfoque, iris o zoom una vez que ya han sido ajustadas.

### 12.2.1 Enfoque y distancia focal.

Se define como **enfoque**, la acción de aproximar o alejar la lente al plano de elementos fotorreceptores de la cámara para hacerlo coincidir con el de formación de la imagen. El enfoque de la lente dependerá de la distancia a la que se encuentre el objeto. Una lente será capaz de enfocar desde el infinito hasta una distancia mínima conocida como MOD (*Minimum Object Distance*).

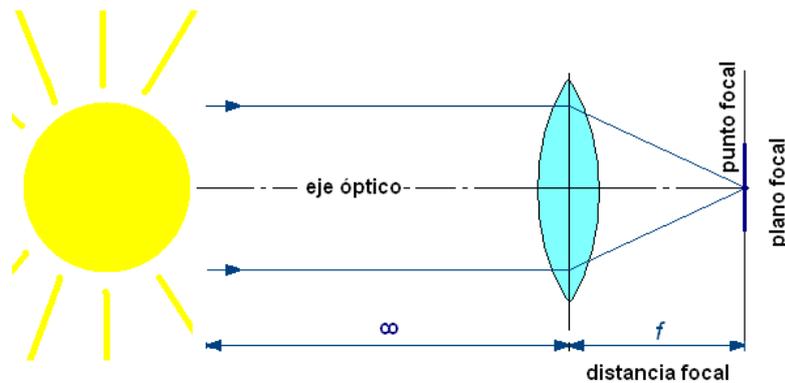


Figura 6: Los rayos procedentes de una fuente situada en el infinito llegan paralelos una lente en posición perpendicular. Al atravesar la lente estos rayos confluyen en un punto conocido como punto focal. La distancia entre la lente y el punto focal es la distancia focal  $f$ . Por tanto si deseamos enfocar a un objeto situado en el infinito, la lente debe estar a una distancia del plano del sensor de la cámara igual a la distancia focal  $f$ .

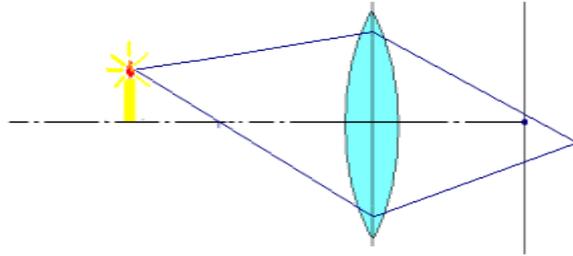


Figura 7: Cuando el objeto no está en el infinito sino más próximo, los rayos que atraviesan la lente se cruzan más allá del punto focal. Si se quiere ver con claridad el objeto en la imagen deberá aumentarse la distancia entre la lente y el plano del sensor

La **distancia focal**  $f$  se define como la distancia entre la lente y el plano de formación de la imagen cuando el objeto enfocado se encuentra situado en el infinito o lo que es lo mismo la distancia entre la lente y el punto de convergencia de todos los rayos que inciden perpendicularmente a ella.

Para determinar la distancia focal más adecuada para una aplicación emplearemos la siguiente fórmula:

$$f = \frac{g}{1 + \frac{B}{G}}$$

donde  $G$  es el tamaño del objeto,  $g$  la distancia de la lente al objeto y  $B$  el tamaño del sensor. A la relación  $m = \frac{B}{G}$  entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto se la denomina factor de magnificación.

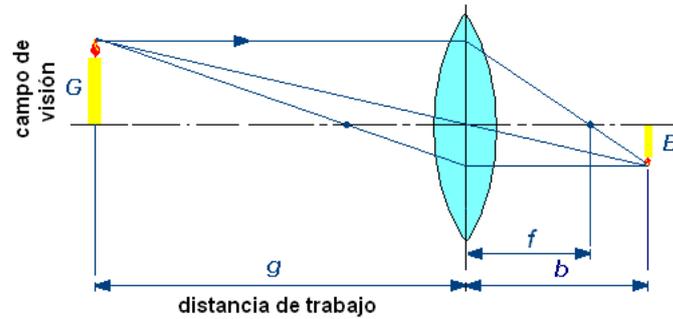


Figura 8: Por similitud de triángulos obtenemos que:  $\frac{B}{b} = \frac{G}{g}$  y que  $\frac{G+B}{b} = \frac{G}{f}$ .

Combinando estas expresiones llegamos a la fórmula que proporciona la distancia focal a partir de la distancia de trabajo y tamaño del sensor y del campo de visión

$$f = \frac{g}{1 + \frac{G}{B}}$$

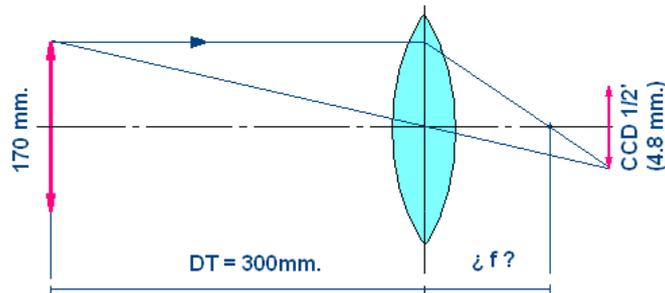


Figura 9: Para calcular la distancia focal necesaria para visualizar con una cámara de  $\frac{1}{2}$ ' un objeto que tiene una altura de 170 mm. desde una distancia de unos 300 mm.

$$f = \frac{g}{1 + \frac{G}{B}} = \frac{300}{1 + \frac{170}{4.8}} \approx 8mm$$

### 12.2.2 Diafragma y la luminosidad.

La **luminosidad** o apertura relativa de un objetivo  $F$  hace referencia a la máxima **cantidad de luz que pasa** a través de él. Esta cantidad luz **puede ser reducida por el iris**, un diafragma de diámetro variable que permite variar el paso de la luz sin influir en los rayos que forman la imagen.

Los números  $F$  son el resultado del cociente entre la distancia focal  $f$  y el diámetro de diafragma totalmente abierto. Los números  $F$  son la expresión de una superficie y no de valores lineales, de forma que la razón de la progresión de la escala  $F$  es  $\sqrt{2}$  y se toma 1 como valor inicial de la misma: 1.0, 1.4, 2.0, 2.8, 4, ... Entonces **el doble de cada número  $F$  deja pasar cuatro veces menos luz que dicho número**. El precio de la óptica aumenta con la disminución de  $F$  (pues para ello se requiere aumentar el diámetro del objetivo y la calidad de la óptica).

Un parámetro relacionado con la apertura del iris es la **profundidad de campo**. La profundidad de campo hace referencia a la tolerancia en la variación de la distancia de trabajo sin que el objeto se desenfoque. Cuanto menor sea la apertura del iris mayor será la profundidad de campo. Por tanto, cuando se precise inspeccionar superficies donde la distancia de estas a la cámara puede oscilar es preciso cerrar lo máximo posible el iris (lo que requerirá lógicamente de una iluminación potente) para mantener enfocada la escena.

Además la profundidad de campo depende de la distancia focal y de la distancia del objeto a la lente. Cuanto menor sea la focal y mayor la distancia del objeto a la lente, mayor será la profundidad de campo.

### 12.2.3 Ópticas para Aplicaciones de Inspección Dimensional.

En aplicaciones de inspección dimensional donde hay que realizar medidas sobre la imagen para estimar con precisión determinadas dimensiones de las piezas hay que considerar otro parámetro que es el **ángulo visual**. El ángulo visual es el ángulo que forman dos rayos que inciden sobre los bordes del sensor de imagen cuando el objeto se encuentra enfocado a una distancia infinita. Este parámetro es especialmente importante en aplicaciones de inspección dimensional puesto que la distorsión de la óptica aumenta con el ángulo de visión. En este tipo de aplicaciones como regla general no deben emplearse nunca objetivos con una focal menor de 8 mm.

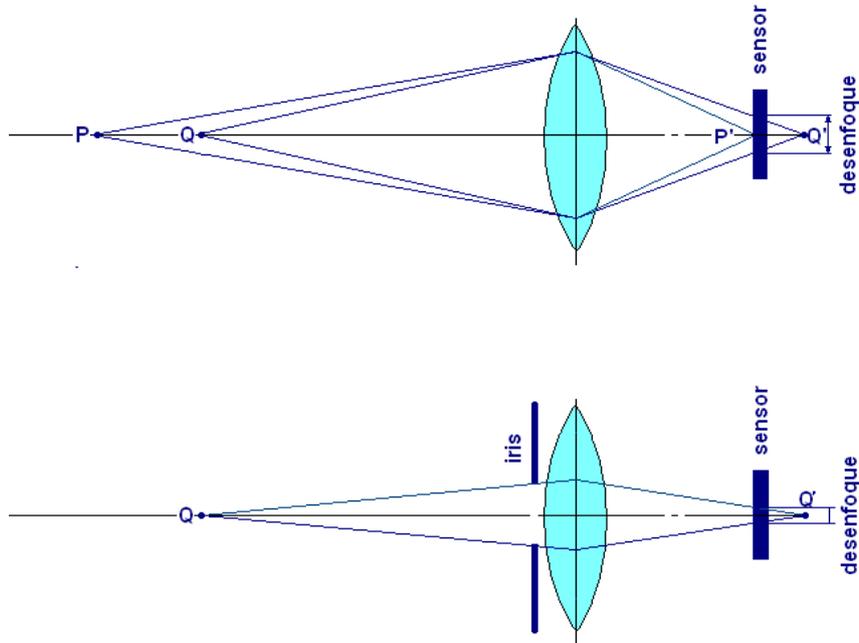


Figura 9. La profundidad de campo hace referencia a la tolerancia en la variación de la distancia de trabajo sin que el objeto se desenfoque. Depende entre otros factores de la apertura del iris.

En la figura 10 puede verse que el ángulo visual viene determinado por:

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{B_{\max}}{2f}$$

donde  $B_{\max}$  es la dimensión horizontal o vertical del sensor de la cámara.

En aplicaciones de inspección dimensional fina, donde se requiere evitar al máximo la distorsión de la perspectiva es imprescindible el empleo de ópticas especiales que permiten únicamente el paso de los rayos paralelos procedentes de la escena. Estas ópticas se denominan **lentes telecéntricas**. Esta restricción de paso de los rayos paralelos evita la distorsión derivada de la perspectiva pero

conlleva un serio inconveniente: el diámetro de la lente tiene que ser al menos tan grande como la pieza que queremos visualizar.

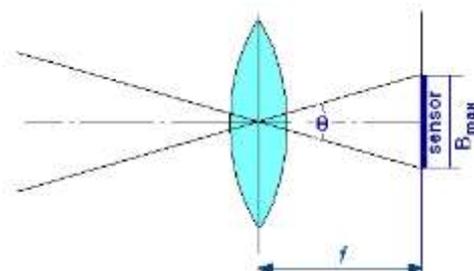


Figura 10. Ángulo visual.

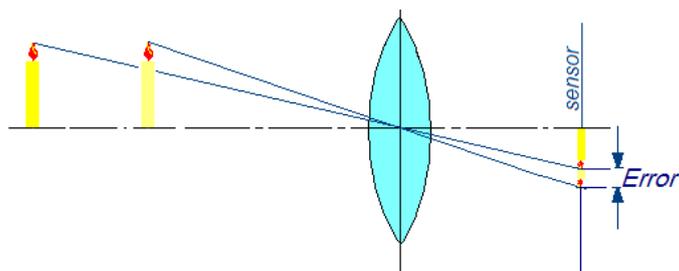


Figura 11. Formación de la imagen en una óptica no telecéntrica

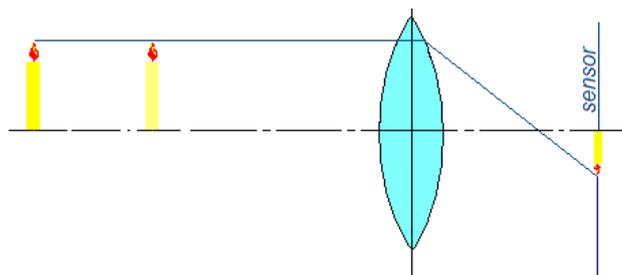


Figura 12. Formación de la imagen en una óptica telecéntrica

#### 12.2.4 FILTROS ÓPTICOS.

Los **filtros** son elementos ópticos que pueden utilizarse para obtener un mayor contraste en la imagen o bien para realzar ciertos colores. Normalmente se sitúan delante del objetivo de la cámara, aunque también puede hacerse delante de la fuente de luz o en las dos. Los más usados en visión artificial son los filtros cromáticos y los polarizares.

Los filtros ópticos permiten en muchas ocasiones mejorar significativamente el contraste de la imagen con de una manera muy sencilla y barata. Los filtros cromáticos permiten hacer pruebas de una forma rápida y sencilla sobre qué color resulta más favorable en la iluminación sin tener que recurrir a probar distintos dispositivos de iluminación mucho más caros. Disponiendo de un conjunto de filtros se puede verificar de una forma rápida y sencilla si los efectos sobre la imagen son los deseados.

Los **filtros cromáticos** permiten obtener cierta información sobre el color empleando cámaras monocromas. La gran mayoría de las aplicaciones industriales de visión artificial emplean cámaras de blanco y negro por el menor coste computacional que suponen las imágenes monocromas (una imagen de color no es sino un triplete de imágenes monocromas). Puede ocurrir que en una imagen monocroma dos colores que son diferentes estén representados por niveles de gris parecidos. Si la aplicación sólo requiere diferenciar estas características no hace falta emplear un sistema de visión en color. En estos casos son muy útiles los filtros de color. Seleccionando un filtro adecuado, aunque la imagen sigue siendo lógicamente monocroma, algunos colores aparecerán más oscuros y otros más brillantes que originalmente facilitando en gran medida la segmentación de la imagen.

Los filtros cromáticos dejan pasar un rango determinado de longitudes de onda de la radiación visible incidente y atenuando el resto. Dependiendo del rango de atenuación los filtros pueden ser clasificados como pasa bajos, pasa altos y pasa banda. Los filtros cromáticos son **filtro pasa banda** porque permiten la transmisión de un determinado rango de longitudes de onda y bloquean la luz con longitudes de onda mayores o menores fuera de este rango. Por otro lado, los filtros **pasa bajos** bloquean las longitudes de onda altas permitiendo el paso de las componentes de menor longitud de onda y los **pasa altos** hacen lo contrario, impedir el paso de las longitudes de onda más bajas y transmiten las más altas.

### **12.3 CONCLUSIONES**

Los sensores se han abaratado, aumentado sus prestaciones y reducido su tamaño mostrando unas perspectivas muy prometedoras. En la actualidad ya existe en el mercado una gran variedad de cámaras inteligentes que incorporan el microprocesador en la cámara lo que marca una tendencia hacia sistemas monolíticos más sencillos y baratos. Como consecuencia de esta simplicidad, incremento de prestaciones y abaratamiento de los equipos, los nuevos sistemas de inspección automática resultan más rentables que nunca. Para los próximos años aparecerán cámaras cada vez más pequeñas, rápidas y fáciles de integrar que ejecutarán los algoritmos con las prestaciones de los PC actuales. La fuerte competencia internacional basada en el coste y la simplicidad de los equipos de visión será la base del crecimiento que se prevé para la inspección visual automática dentro de los próximos años.