CÁLCULOS DE CÁMARAS DE CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN

1. Una cámara moderna (HD-TVI, HD-CVI, AHD, HD-SDI, IP) a 3 metros de altura y 10 metros de distancia debe reconocer a personas de 1,7 metros de altura en un muelle de carga de 10 metros de ancho.

$densidad\ píxel = 125\ píxeles/m$ (Reconocimiento)

$resolución\ horizontal\ \geq anchura\ imagenxdensidad\ píxel \geq 10\ m\ x\ 125\ píxeles/m \geq 1250\ píxeles$

$$resolución\ vertical \geq \frac{resolución\ horizontal}{relación\ aspecto} \geq \frac{1250\ píxeles}{\frac{16}{9}} \geq 703{,}125\ píxeles$$

Resolución cámara: 720P = HD (1280x720)

$$L = distancia\ real = hipotenusa = \sqrt{D^2 + (H-h)^2} = \sqrt{distancia\ horizontal^2 + (altura\ cámara - altura\ objeto)^2} = \sqrt{10^2 + (3-1{,}7)^2} = \sqrt{101{,}69} = 10{,}08\ m$$

Distancias focales comerciales típicas: 2,8 mm, 3,6 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm, 22 mm, 25 mm, 50 mm.

1ª solución: probar todos los tamaños de sensor hasta que distancia focal calculada coincide con un valor comercial (suerte si coincide).

Sensor 1/4": $anchura\ sensor = 3{,}6\ mm,\ altura\ sensor = 2{,}025\ mm,\ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensorxdistancia\ real}{anchura\ imagen} \geq \frac{3{,}6\ mmx10{,}08\ m}{10\ m} \geq 3{,}62\ mm$$

$f = distancia\ focal = 3{,}6\ mm\ (si\ es\ un\ valor\ comercial)$

Sensor 1/3": $anchura\ sensor = 4{,}8\ mm,\ altura\ sensor = 2{,}7\ mm,\ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensorxdistancia\ real}{anchura\ imagen} \geq \frac{4{,}8\ mmx10{,}08\ m}{10\ m} \geq 4{,}83\ mm$$

$f = distancia\ focal = 4{,}83\ mm\ (no\ es\ un\ valor\ comercial)$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Desventajas: hay que repetir cálculos, posiblemente la distancia focal calculada no coincida con ningún valor comercial, posiblemente la tienda no venda ese tamaño de sensor.
Ventajas:

2ª solución: elegir un tamaño de sensor con una distancia focal calculada que este en el intervalo de una cámara varifocal (más caro).

Sensor 1/3": $anchura\ sensor = 4{,}8\ mm,\ \ altura\ sensor = 2{,}7\ mm,\ \ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensor x distancia\ real}{anchura\ imagen} \geq \frac{4{,}8\ mm x 10{,}08\ m}{10\ m} \geq\ 4{,}83\ mm$$

$$f = distancia\ focal = 2{,}8 - 12\ mm\ (varifocal)\ \ (es\ un\ valor\ comercial)$$

Desventajas: más cara, hay que ajustar manualmente la distancia focal.
Ventajas: versátil.

3ª solución: elegir un tamaño de sensor con una distancia focal comercial cercana a la calculada y modificar la distancia horizontal de la cámara si la cámara se instala en el techo o pared lateral.

Sensor 1/3": $anchura\ sensor = 4{,}8\ mm,\ \ altura\ sensor = 2{,}7\ mm,\ \ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$f = distancia\ focal = 4\ mm\ (es\ un\ valor\ comercial)$$

$$D = nueva\ distancia\ horizontal = \sqrt{\left(\frac{distancia\ focal x anchura\ imagen}{anchura\ sensor}\right)^2 - (altura\ cámara - altura\ objeto)^2} = \sqrt{\left(\frac{4x10}{4{,}8}\right)^2 - (3 - 1{,}7)^2} = \sqrt{67{,}75}$$
$$= 8{,}23\ m$$

$$f = distancia\ focal = 6\ mm\ (es\ un\ valor\ comercial)$$

$$D = nueva\ distancia\ horizontal = \sqrt{\left(\frac{distancia\ focal x anchura\ imagen}{anchura\ sensor}\right)^2 - (altura\ cámara - altura\ objeto)^2} = \sqrt{\left(\frac{6x10}{4{,}8}\right)^2 - (3 - 1{,}7)^2} = \sqrt{154{,}56}$$
$$= 12{,}43\ m$$

Desventajas: calcular la nueva distancia horizontal, no se puede aplicar si no se puede mover la cámara a su nueva distancia horizontal.
Ventajas:

http://tecno-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

4ª solución: elegir un tamaño de sensor con una distancia focal comercial mayor a la calculada si la nueva anchura es válida (no aconsejable).

Sensor 1/3": $anchura\ sensor = 4{,}8\ mm,\ \ altura\ sensor = 2{,}7\ mm,\ \ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensor x distancia\ real}{anchura\ imagen} \geq \frac{4{,}8\ mm x 10{,}08\ m}{10\ m} \geq\ 4{,}83\ mm$$

$$f = distancia\ focal = 6\ mm\ (es\ un\ valor\ comercial)$$

$$nueva\ anchura\ imagen = \frac{distancia\ real x anchura\ sensor}{distancia\ focal} = \frac{10{,}08\ m x 4{,}8\ mm}{6\ mm} = 8{,}06\ m$$

Desventajas: disminuye la anchura imagen (no abarque todo el ancho), disminuye la altura imagen, menor profundidad de campo.
Ventajas: aumenta la densidad de pixel, aumenta % vertical imagen.

Sensor 1/4": $anchura\ sensor = 3{,}6\ mm,\ \ altura\ sensor = 2{,}025\ mm,\ \ relación\ aspecto = \frac{16}{9}$

$$altura\ sensor = \frac{anchura\ sensor}{relación\ aspecto} = \frac{3{,}6\ mm}{\frac{16}{9}} = 2{,}025\ mm$$

$$angulo\ inclinación\ vertical\ cámara = \tan^{-1}\left(\frac{altura\ cámara - altura\ objeto}{distancia\ horizontal}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2x distancia\ focal}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3-1{,}7}{10}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{2{,}025}{2x3{,}6}\right) = 23{,}11°$$

Como la aplicación es de reconocimiento y el ángulo inclinación vertical de la cámara es mayor a 20º, calculamos la altura cámara para un ángulo inclinación vertical de la cámara = 20º

$$altura\ cámara = altura\ objeto + distancia\ horizontal x \tan\left(angulo\ inclinación\ vertical\ cámara - \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2x distancia\ focal}\right)\right)$$

$$= 1{,}7 + 10x \tan\left(20° - \tan^{-1}\left(\frac{2{,}025}{2x3{,}6}\right)\right) = 2{,}45\ m$$

Resolución cámara: 720P = HD (1280x720), Compresión = H.264, Frame Size (KBytes) = 10,46, FPS = 25, Actividad = 1, Cámaras = 1, Días = 30, Horas/Día = 24

$$Ancho\ banda\ (Mbit/s) \sim 0{,}0082 x Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras \sim 0{,}0082x10{,}46x25x1x1 \sim 2{,}14\ Mbit/s$$

$$Espacio\ almacenamiento\ (GB) \sim 0{,}45 x Ancho\ banda\ (Mbit/s) x Días x Horas/Día \sim 0{,}45x2{,}14x30x24 \sim 693{,}36\ GB$$

http://tecnologiaelectronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

2. Una cámara antigua o tradicional (CVBS, 960H) a 3 metros de altura y 10 metros de distancia debe reconocer a personas de 1,7 metros de altura.

$\%\ vertical\ imagen = 50\ \%$ (Reconocimiento)

$$altura\ imagen = \frac{100xaltura\ objeto}{\%\ vertical\ imagen} = \frac{100x1{,}7\ m}{50\ \%} = 3{,}4\ m$$

Sensor 1/4": $anchura\ sensor = 3{,}6\ mm,\ \ altura\ sensor = 2{,}7\ mm,\ \ relación\ aspecto = \frac{4}{3}$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{altura\ sensorxdistancia\ real}{altura\ imagen} \geq \frac{2{,}7\ mmx10{,}08\ m}{3{,}4\ m} \geq\ 8{,}00\ mm$$

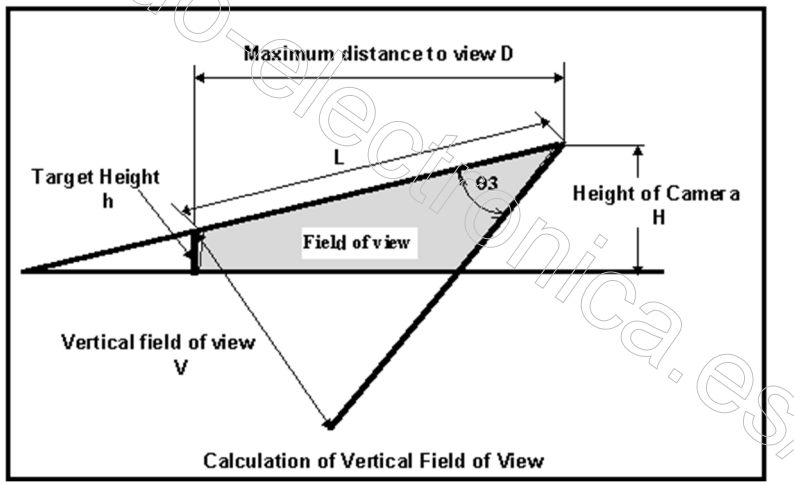
$$f = distancia\ focal = 8{,}00\ mm\ (si\ es\ un\ valor\ comercial)$$

Resolución cámara: D1 = (720x576), Compresión = H.264, Frame Size (KBytes) = 4,70, FPS = 25, Actividad = 1, Cámaras = 1, Días = 30, Horas/Día = 24

$$Espacio\ almacenamiento\ (GB) \sim \frac{Frame\ Size\ (KBytes)xFPSxActividadxCámarasxDíasxHoras/Día}{271} \sim \frac{4{,}70x25x1x1x30x24}{271} \sim 312{,}17\ GB$$

http://todoelectronica.com/ José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS:



Cálculo de la distancia real:

$$L = distancia\ real = hipotenusa = \sqrt{D^2 + (H-h)^2} = \sqrt{distancia\ horizontal^2 + (altura\ cámara - altura\ objeto)^2}$$

$$h = altura\ objeto = altura\ detectable\ mínima$$

$$Si\ D \geq 3x(H-h), entonces\ L = distancia\ real \sim D = distancia\ horizontal\ (el\ error\ es\ \leq 5{,}41\ \%)$$

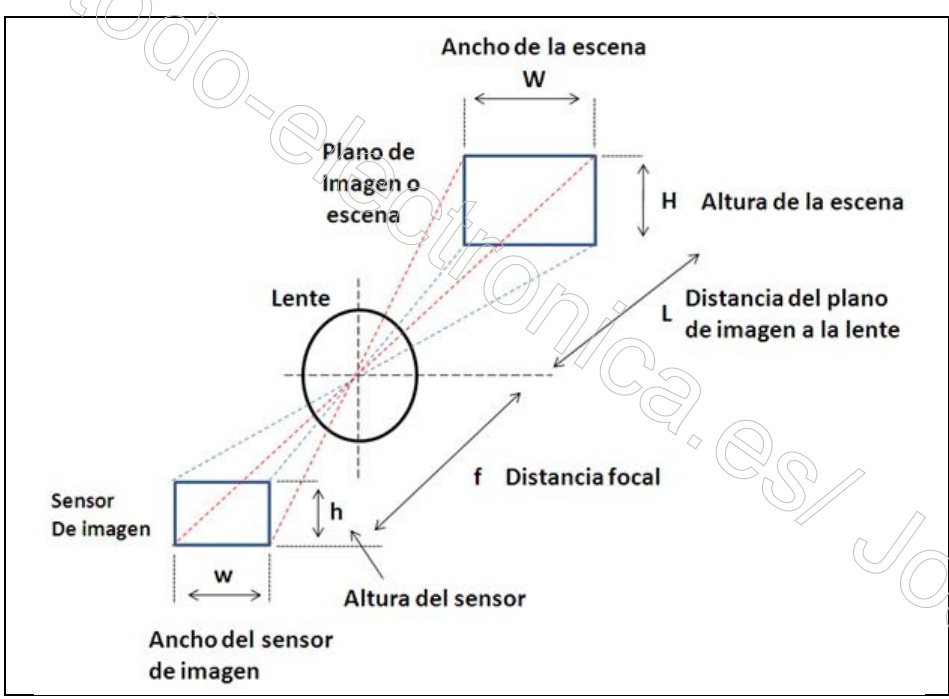
Cálculo de la altura de la imagen o escena:

$$V = altura\ imagen = 2xLx\tan\left(\frac{VFOV}{2}\right) = 2xdistancia\ realx\tan\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2} = 2xLx\tan\frac{\theta 3}{2} = 2x\sqrt{D^2 + (H-h)^2}x\tan\frac{\theta 3}{2}$$
$$= \frac{distancia\ realxaltura\ sensor}{distancia\ focal} = \frac{anchura\ imagen}{relación\ aspecto}$$

Cálculo de la anchura de la imagen o escena:

$$anchura\ imagen = 2xLx\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right) = 2xdistancia\ realx\tan\frac{ángulo\ visión\ horizontal}{2} = \frac{distancia\ realxanchura\ sensor}{distancia\ focal} = relación\ aspectoxaltura\ imagen$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo



Format Type					
			CCD Sensor sizes (mm)		
Format Type	Aspect Ratio	Ø Dia.(mm)	Diagonal mm	Width mm	Height mm
1/4"	4:3	7.056	5.000	3.600	2.700
1/3.6"	4:3	7.056	5.000	4.000	3.000
1/3.2"	4:3	7.938	5.680	4.536	3.416
1/3"	4:3	8.467	6.000	4.800	3.600
1/2.7"	4:3	9.407	6.721	5.371	4.035
1/2.5"	4:3	10.160	7.182	5.760	4.290
1/2"	4:3	12.700	8.000	6.400	4.800
1/1.8"	4:3	14.111	8.933	8.5	6.8
1/1.7"	4:3	14.941	9.500	7.600	5.700
2/3"	4:3	16.933	11.000	8.800	6.600
1"	4:3	25.400	16.000	12.800	9.600

Si la relación de aspecto es 16/9, la anchura del sensor es casi la misma que en 4/3 y la altura del sensor es:

$$altura\ sensor = \frac{anchura\ sensor}{relación\ aspecto} = \frac{anchura\ sensor}{\frac{16}{9}}$$

Cálculo de la distancia focal:

$$\frac{anchura\ sensor}{anchura\ imagen} = \frac{altura\ sensor}{altura\ imagen} = \frac{distancia\ focal}{distancia\ real}$$

$$f = distancia\ focal = \frac{anchura\ sensor x distancia\ real}{anchura\ imagen} = \frac{altura\ sensor x distancia\ real}{altura\ imagen} = \frac{anchura\ sensor}{2x\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)} = \frac{altura\ sensor}{2x\tan\left(\frac{VFOV}{2}\right)}$$

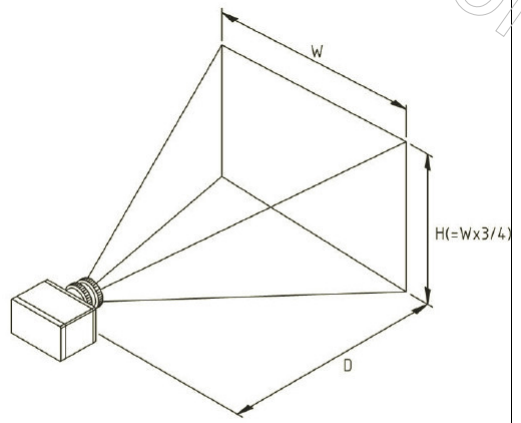
$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensor x distancia\ real}{anchura\ imagen} \geq \frac{anchura\ sensor x\sqrt{distancia\ horizontal^2 + (altura\ cámara - altura\ objeto)^2}}{anchura\ imagen}$$

$$f = distancia\ focal \geq \frac{anchura\ sensor x distancia\ real x densidad\ píxel}{resolución\ horizontal}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Distancias focales comerciales típicas: 2,8 mm, 3,6 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm, 22 mm, 25 mm, 50 mm.

Cálculo de la distancia focal (método gráfico de Bosh):



Campo de visión

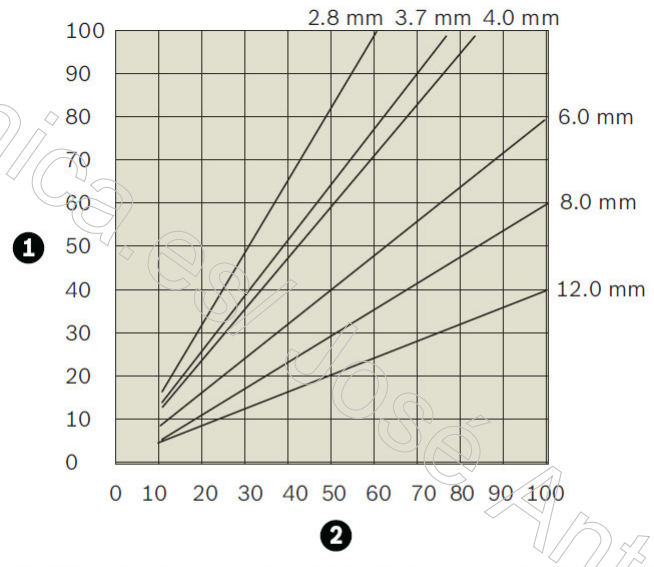


Gráfico 1: Campo de visión (cámaras de 8,5 mm)

1 Anchura de objeto (m)

2 Distancia al objeto (m)

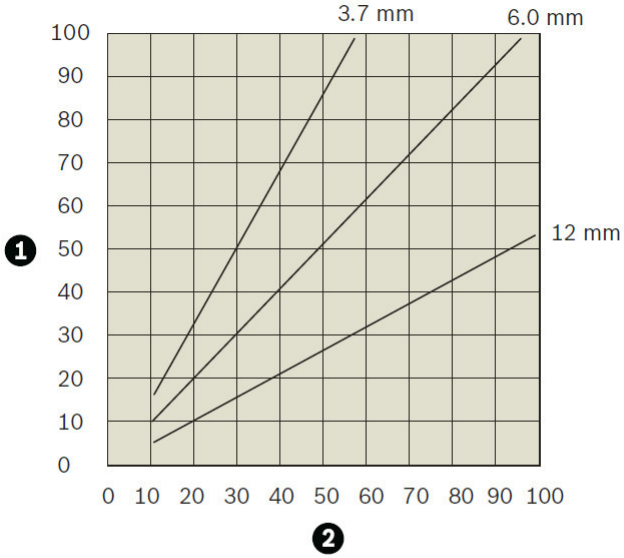


Gráfico 2: Campo de visión (cámaras de 12,7 mm

1 Anchura de objeto (m)

2 Distancia al objeto (m)

	Para lentes de 1/3 de pulg. utilice el gráfico 1	**Para lentes de 1/2 pulg. utilice el gráfico 2**

Selección de la lente correcta

Existe una relación simple entre el campo de visión necesario y la distancia focal de la lente que se va a usar (consulte la figura Campo de visión).

Para determinar la relación:

• Calcule o mida el ancho “W” del campo de visión.

• Calcule o mida la distancia “D” entre la cámara y el objeto que se va a observar.

http://tecnoelectronica.com/JoseAntonioSanchez Castillo

• Para lentes de 1/3 de pulg. utilice el gráfico 1; para lentes de 1/2 pulg. utilice el gráfico 2. Busque el punto en el gráfico para la lente y el formato del sensor que correspondan a las coordenadas “W” y “D”. Para garantizar la total cobertura del objeto, seleccione la lente que indica la línea sobre este objeto. Normalmente, para que la cobertura del campo de visión sea correcta, se utilizan lentes de 1/3 de pulg. y 1/2 pulg. con cabezales de cámara con sensores de 1/3 de pulg. y 1/2 pulg. respectivamente. Sin embargo, las lentes de 1/2 pulg. pueden utilizarse con cámaras de 1/3 de pulg. pero el sensor no detectará las áreas externas del campo de visión de la lente.

Aplicación o uso:

European Standard EN 62676-4: 2015

Aplicación o uso	**Explicación**	**píxeles horizontales rostro o cara de 16 cm de ancho**	**densidad pixel píxeles/m (PPM)**	**mm/píxel**	**píxeles/pie (PPF)**	**píxeles/pulgada (PPI)**	**ángulo de inclinación de la cámara**	**% vertical de la imagen o pantalla que ocupa el objeto o persona en PAL (576i) 625-49=576 576x0,7 ~ 400 ANTIGUO**
Monitor y control	Para permitir la visualización del número, dirección y velocidad de movimiento de las personas en un área amplia, siempre que el operador conozca su presencia.	2 píxel/rostro	12,5 píxeles/m	80 mm/píxel	4 pixel/pie		baja importancia	5 % altura imagen = 20xaltura objeto
Detección	Para permitir que el operador determine de manera confiable y fácil si existe o	4 píxel/rostro	25 píxeles/m	40 mm/píxel	8 pixel/pie	0,6 píxel/pulg.	baja importancia	10 % altura imagen = 10xaltura objeto

http://tooselectronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

	no un objetivo (por ejemplo, una persona o vehículo).							
Observación	Para permitir que se vean los detalles característicos de un individuo, como la vestimenta distintiva, mientras se permite una visión de la actividad que rodea un incidente.	10 píxel/rostro	62,5 píxeles/m	16 mm/píxel	19 pixel/pie		baja importancia	25 % altura imagen = 4xaltura objeto
Reconocimiento	Para permitir que el operador determine con un alto grado de certeza si un individuo que se muestra es o no lo mismo que alguien que ha visto antes.	20 píxel/rostro	125 píxeles/m	8 mm/píxel	38 pixel/pie	3,2 píxel/pulg.	media importancia	50 % altura imagen = 2xaltura objeto
Matricula coche		32 píxel/rostro	200 píxeles/m	5 mm/píxel			¿?	80 % altura imagen = 1,25xaltura objeto
Identificación (buenas condiciones)	Para permitir la identificación de un individuo más allá de toda duda	40 píxel/rostro	250 píxeles/m	4 mm/píxel	76 pixel/pie	6,3 píxel/pulg.	alta importancia (< 20º)	100 % altura imagen = altura objeto

http://todoelectronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

	razonable.							
Identificación (condiciones difíciles)		80 píxel/rostro	500 píxeles/m	2 mm/píxel		12,5 píxel/pulg.	alta importancia (< 20º)	200 % altura imagen = 0,5xaltura objeto
Inspección	Para permitir que se vean los detalles característicos de un individuo, como la ropa distintiva, al tiempo que permite una visión de la actividad que rodea un incidente.	160 píxel/rostro	1000 píxeles/m	1 mm/píxel	305 pixel/pie		alta importancia (< 20º)	400 % altura imagen = 0,25xaltura objeto

D.O.R.I. (Detección, Observación, Reconocimiento, Identificación)
M.D.O.R.I.I. (Monitor, Detección, Observación, Reconocimiento, Identificación, Inspección)
Anchura rostro o cara ~ 16 cm (6,3”)
Altura rostro ~ 20 cm
Altura persona = altura objeto = 1,64 m (5´4”) a 1,76 m (5´8”)
Anchura persona = 0,5 m
Altura coche = 1,5 m
Largo coche = 4 m
Altura matricula coche ~ 10 cm

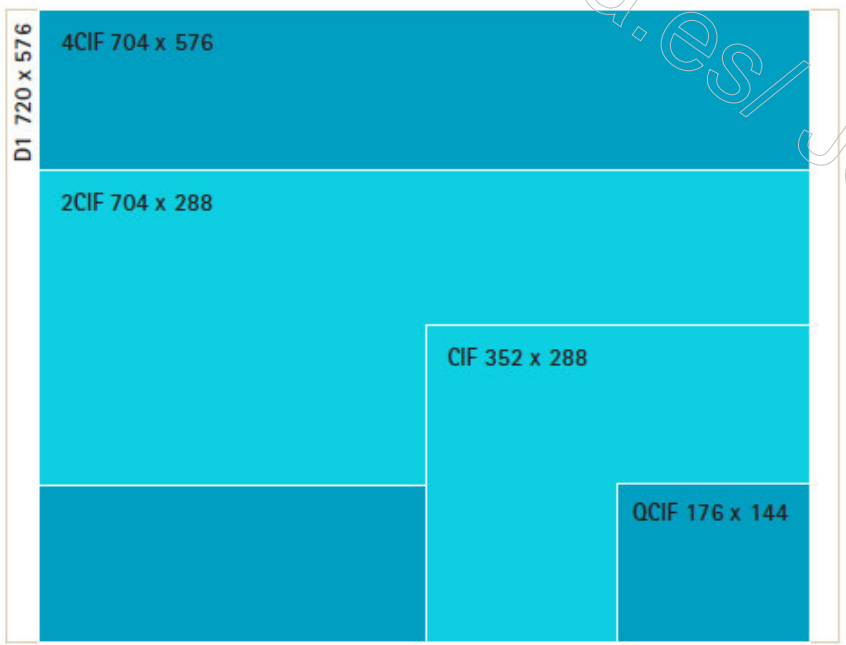
http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

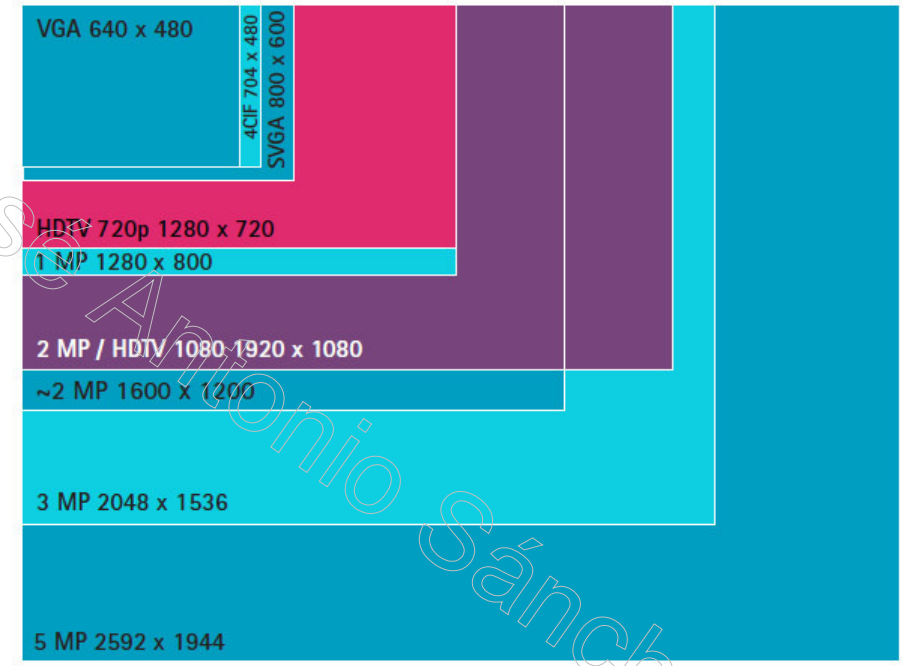
http://todo-electronica.esi.com José Antonio Sánchez Castillo

Tabla de resoluciones de imagen (PAL)

Formato	Resolución Horizontal H (Píxeles)	Resolución Vertical V (Píxeles)	Resolución Total (Píxeles)	Resolución Total (Megapíxeles)	Relación de aspecto	Otros
QCIF	176	144	25344	0,025344		CIF cuarta parte (la mitad de la altura y la anchura del CIF)
CIF	352	288	101376	0,101376 ~ 0,1 Mpíxel		
2CIF	704	288	202752	0,202752 ~ 0,2 Mpíxel		2 veces el ancho del CIF
HD1	352	576	202752	0,202752 ~ 0,2 Mpíxel		2 veces el alto del CIF
DCIF	528	384	202752	0,202752 ~ 0,2 Mpíxel		
4CIF	704	576	405504	0,405504 ~ 0,4 Mpíxel		2 veces el ancho del CIF y 2 veces la altura del CIF
D1 = Full D1 = SD	720	576	414720	0,41472 ~ 0,4 Mpíxel	4/3	parecido al 4CIF
960H = WD1	960	576	552960	0,55296	16/9	
VGA	640	480	307200	0,3072	4/3	
SVGA	800	600	480000	0,48 ~ 0,5 Mpíxel	4/3	
720P Lite	640	720	460800	0,4608 ~ 0,5 Mpíxel	16/18	la mitad de la anchura del 720p, graba a 0,5 MP y reconoce cámaras de 1 MP, se vende menos
720p = HD	1280	720	921600	0,9216 ~ 1 Mpíxel	16/9	se vende menos
1280H	1280	576	737280	0,73728 Mpíxel		
800p = 1MP	1280	800	1024000	1,024 ~ 1 Mpíxel	16/10	
1.3MP	1280	1024	1310720	1,31072 ~ 1,3 Mpíxel	5/4	
1080N = 1080P Lite	960	1080	1036800	1,0368 ~ 1 Mpíxel	16/18	la mitad de la anchura del 1080p, graba a 1 MP y reconoce cámaras de 2 MP, se vende menos
900p	1600	900	1440000	1,44 Mpixel	16/9	
1080p = FHD = FULL HD	1920	1080	2073600	2,0736 ~ 2 Mpíxel	16/9	se vende mas
1200p	1920	1200	2304000	2,304 ~ 2,3 Mpíxel	16/10	
2MP	1600	1200	1920000	1,92 ~ 2 Mpíxel	4/3	
3MP	2048	1536	3145728	3,145728 ~ 3 Mpíxel	4/3	

1440p = 4MP = QUAD HD = QHD = WQHD	2560	1440	3686400	3,6864 ~ 4 Mpíxel	16/9	2 veces el ancho del 720p y 2 veces la altura del 720p
1600p	2560	1600	4096000	4,096 ~ 4,09 Mpíxel	16/10	
5MP	2592	1944	5038848	5,038848 ~ 5 Mpíxel	4/3	
2160p = 4K = UHD = ULTRA UHD	3840	2160	8294400	8,2944 ~ 8 Mpíxel	16/9	2 veces el ancho del 1080p y 2 veces la altura del 1080p
4320p = 8K = UHDV	7680	4320	33177600	33,1776 ~ 33,1 Mpíxel	16/9	4 veces el ancho del 1080p y 4 veces la altura del 1080p





El 4CIF es NTFS

http://tecno-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo de la densidad de píxel:

$$densidad\ píxel\ (píxeles/m) = \frac{distancia\ focal\ (mm) x resolución\ horizontal\ (píxeles)}{distancia\ real\ (m) x anchura\ sensor (mm)} = \frac{resolución\ horizontal\ (píxeles)}{anchura\ imagen\ (m)}$$

Cálculo de mm/píxel:

$$mm/píxel = \frac{1000\ mm}{densidad\ píxel\ (píxeles/m)} = \frac{1000\ mm x anchura\ imagen\ (m)}{resolución\ horizontal\ (píxeles)}$$

Cálculo de la distancia horizontal:

$$D = distancia\ horizontal = \sqrt{\left(\frac{distancia\ focal x anchura\ imagen}{anchura\ sensor}\right)^2 - (altura\ cámara - altura\ objeto)^2}$$

$$Si\ D > (H - h), entonces\ L = distancia\ real \sim D = distancia\ horizontal = \frac{distancia\ focal x anchura\ imagen}{anchura\ sensor}$$

Cálculo de la resolución horizontal:

$$\boxed{resolución\ horizontal \geq anchura\ imagen x densidad\ píxel}$$

Cálculo de la resolución vertical:

$$resolución\ vertical = \frac{resolución\ horizontal}{relación\ aspecto}$$

Cálculo de la resolución total:

$$resolución\ total = resolución\ horizontal x resolución\ vertical = \frac{resolución\ horizontal^2}{relación\ aspecto} = resolución\ vertical^2 x relación\ aspecto$$

$$resolución\ total\ (Mpíxel) = \frac{resolución\ horizontal x resolución\ vertical}{1000000}$$

Cálculo de la relación de aspecto:

$$relación\ aspecto = \frac{resolución\ horizontal}{resolución\ vertical} = \frac{anchura\ sensor}{altura\ sensor} = \frac{anchura\ imagen}{altura\ imagen} = \frac{\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)}{\tan\left(\frac{VFOV}{2}\right)}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo del tamaño de un píxel del sensor:

$$anchura\ píxel\ (\mu m) = \frac{1000xanchura\ sensor\ (mm)}{resolución\ horizontal}$$

$$altura\ píxel\ (\mu m) = \frac{1000xaltura\ sensor\ (mm)}{resolución\ vertical}$$

$$anchura\ píxel\ (\mu m) = altura\ píxel\ (\mu m)$$

Cálculo del ángulo de visión vertical:

$$\theta 3 = ángulo\ visión\ vertical\ = VFOV$$

$$= 2x\tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\frac{altura\ imagen}{2xdistancia\ real}\right)$$

$$= 2x\tan^{-1}\left(\tan\left(\frac{ángulo\ visión\ horizontal}{2}\right)x\frac{altura\ sensor}{anchura\ sensor}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\tan\left(\frac{ángulo\ visión\ diagonal}{2}\right)x\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{1}{relación\ aspecto}\right)\right)\right)$$

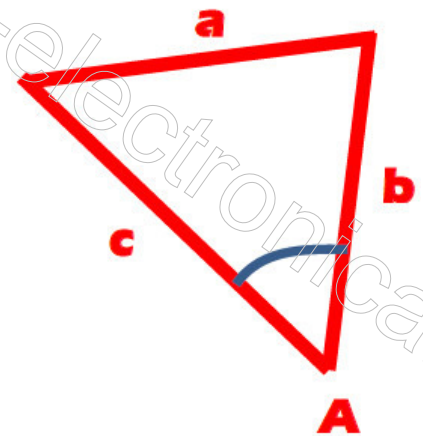
Cálculo del ángulo de visión horizontal:

$$ángulo\ visión\ horizontal = HFOV = 2x\tan^{-1}\left(\frac{anchura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\frac{anchura\ imagen}{2xdistancia\ real}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\tan\left(\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2}\right)x\frac{anchura\ sensor}{altura\ sensor}\right)$$

$$= 2x\tan^{-1}\left(\tan\left(\frac{ángulo\ visión\ diagonal}{2}\right)x\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{1}{relación\ aspecto}\right)\right)\right)$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo del ángulo de visión horizontal (teorema del coseno):



1. Medimos el lado c (distancia horizontal entre la cámara A y el lado izquierdo de la imagen).
2. Medimos el lado b (distancia horizontal entre la cámara A y el lado derecho de la imagen).
3. Medimos el lado a (el ancho de la imagen).
4. Calculamos el ángulo de visión horizontal.
5. Compramos una cámara que tenga el ángulo de visión horizontal calculado.

$$\cos A = \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2xbxc}\right)$$

$$\text{ángulo visión horizontal} = A = \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2xbxc}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{b^2 + c^2 - \text{anchura imagen}^2}{2xbxc}\right)$$

$$\boldsymbol{b = c}$$

$$\text{ángulo visión horizontal} = A = \cos^{-1}\left(\frac{2xb^2 - a^2}{2xb^2}\right) = \cos^{-1}\left(1 - \frac{\text{anchura imagen}^2}{2xb^2}\right)$$

Cálculo de la diagonal del sensor:

$$\text{diagonal sensor} = \sqrt{\text{anchura sensor}^2 + \text{altura sensor}^2} = \text{altura sensor}x\sqrt{1 + \text{relación aspecto}^2} = \frac{\text{anchura sensor}}{\text{relación aspecto}}x\sqrt{1 + \text{relación aspecto}^2}$$

Cálculo de la diagonal de la imagen o escena:

$$\text{diagonal imagen} = \sqrt{\text{anchura imagen}^2 + \text{altura imagen}^2} = \text{altura imagen}x\sqrt{1 + \text{relación aspecto}^2} = \frac{\text{anchura imagen}}{\text{relación aspecto}}x\sqrt{1 + \text{relación aspecto}^2}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo del ángulo de visión diagonal:

$$\text{ángulo visión diagonal} = DFOV = 2x\tan^{-1}\left(\frac{\text{diagonal sensor}}{2x\text{distancia focal}}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\frac{\text{diagonal imagen}}{2x\text{distancia real}}\right) = 2x\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\text{anchura sensor}^2 + \text{altura sensor}^2}}{2x\text{distancia focal}}\right)$$

$$= 2x\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\text{anchura imagen}^2 + \text{altura imagen}^2}}{2x\text{distancia real}}\right)$$

Cálculo del área o superficie de la imagen o escena:

$$\text{área imagen } (m^2) = \text{anchura imagen } (m)x\text{ altura imagen } (m) = \frac{\left(\text{anchura imagen } (m)\right)^2}{\text{relación aspecto}} = \text{relación aspectox}\left(\text{altura imagen } (m)\right)^2$$

Cálculo de la altura del sensor:

$$\text{altura sensor} = 2x\text{distancia focalx}\tan\left(\frac{VFOV}{2}\right) = 2x\text{distancia focalx}\tan\left(\frac{\text{ángulo visión vertical}}{2}\right) = \frac{\text{altura imagenxdistancia focal}}{\text{distancia real}} = \frac{\text{anchura sensor}}{\text{relación aspecto}}$$

$$= \frac{\text{altura píxel } (\mu m)x\text{resolución vertical}}{1000}$$

Cálculo de la anchura del sensor:

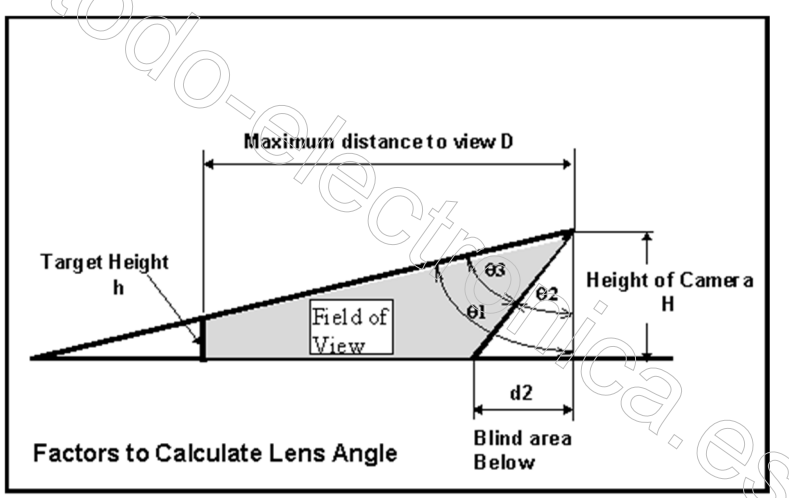
$$\text{anchura sensor} = 2x\text{distancia focalx}\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right) = 2x\text{distancia focalx}\tan\left(\frac{\text{ángulo visión horizontal}}{2}\right) = \frac{\text{anchura imagenxdistancia focal}}{\text{distancia real}}$$

$$= \text{relación aspectoxaltura sensor} = \frac{\text{anchura píxel } (\mu m)x\text{resolución horizontal}}{1000}$$

Cálculo del área o superficie del sensor:

$$\text{área sensor } (mm^2) = \text{anchura sensor } (mm)x\text{ altura sensor } (mm) = \frac{\left(\text{anchura sensor } (mm)\right)^2}{\text{relación aspecto}} = \text{relación aspectox}\left(\text{altura sensor } (mm)\right)^2$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo



$$\theta 1 = \text{angulo hipotenusa} = \tan^{-1}\left(\frac{D}{H-h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{distancia\ horizontal}{altura\ cámara - altura\ objeto}\right)$$

Cálculo del ángulo ciego o muerto debajo de la cámara:

$$\theta 2 = \text{angulo ciego} = \tan^{-1}\left(\frac{d_2}{H}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{distancia\ horizontal\ ciega}{altura\ cámara}\right)$$

$$\theta 3 = \theta 1 - \theta 2$$

$$\theta 2 = \theta 1 - \theta 3$$

Cálculo de la distancia horizontal ciega o muerta debajo de la cámara:

$$d_2 = distancia\ horizontal\ ciega$$

$$= Hx \tan\theta 2 = Hx \tan(\theta 1 - \theta 3) = altura\ cámarax \tan\left(\tan^{-1}\left(\frac{distancia\ horizontal}{altura\ cámara - altura\ objeto}\right) - 2x \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right)\right)$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

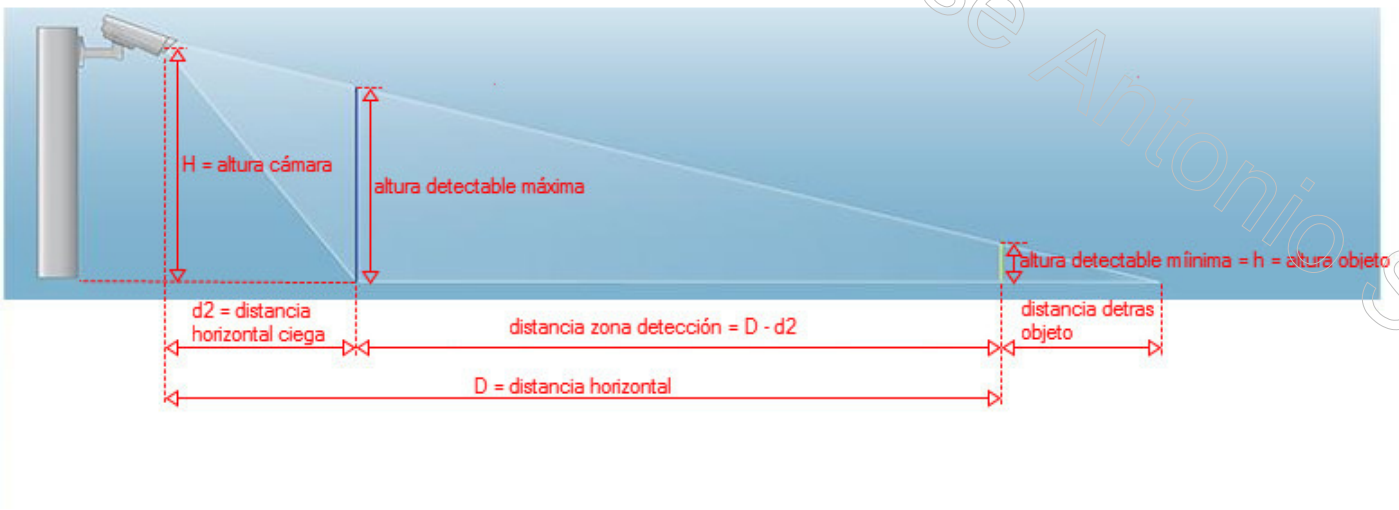
Cálculo del ángulo de inclinación vertical de la cámara (Tilt):

$$angulo\ inclinación\ vertical\ cámara = 90° - \left(\theta 1 - \frac{\theta 3}{2}\right) = 90° - \left(\theta 2 + \frac{\theta 3}{2}\right) = 90° - \left(\frac{\theta 1}{2} + \frac{\theta 2}{2}\right) = angulo\ incidencia\ mínimo + \left(\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2}\right)$$
$$= angulo\ incidencia\ máximo - \left(\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2}\right) = 90° - (\tan^{-1}\left(\frac{distancia\ horizontal}{altura\ cámara - altura\ objeto}\right)$$
$$- \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right)) = \tan^{-1}\left(\frac{altura\ cámara - altura\ objeto}{distancia\ horizontal}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right) = 90° - (\tan^{-1}\frac{distancia\ ciega}{altura\ cámara}$$
$$+ \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right))$$

Angulo de inclinación vertical máximo de la cámara para reconocimiento, identificación e inspección < 20°

Cálculo de la altura de la cámara:

$$altura\ cámara = H = altura\ objeto + distancia\ horizontalx \tan\left(angulo\ inclinación\ vertical\ cámara - \tan^{-1}\left(\frac{altura\ sensor}{2xdistancia\ focal}\right)\right)$$



http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo de la distancia detrás del objeto:

$$distancia\ detras\ objeto = hx \tan\theta 1 = \frac{hxD}{(H-h)}$$

Cálculo de la distancia de la zona de detección:

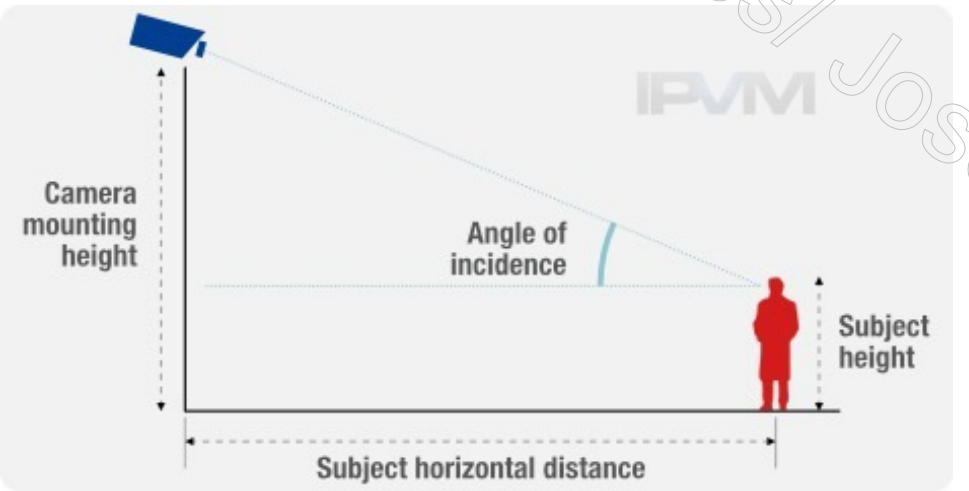
$$distancia\ zona\ detección = distancia\ horizontal - distancia\ horizontal\ ciega\ = D - d_2$$

Cálculo de la altura del objeto detectable mínima por la cámara:

$$altura\ objeto\ detectable\ mínima = h = altura\ objeto$$

Cálculo de la altura del objeto detectable máxima por la cámara:

$$altura\ objeto\ detectable\ máxima = H - \frac{(H-h)xd_2}{D} = altura\ cámara - \frac{(altura\ cámara - altura\ objeto)xdistancia\ horizontal\ ciega}{distancia\ horizontal}$$



Cálculo del ángulo de incidencia mínimo (entre cámara y objeto):

$$angulo\ incidencia\ mínimo = \tan^{-1}\frac{(H-h)}{D} = angulo\ inclinación\ vertical\ cámara - \left(\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2}\right) = 90° - \theta 1$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo del ángulo de incidencia máximo (entre cámara y objeto):

$$angulo\ incidencia\ máximo = \tan^{-1}\frac{(H-h)}{d_2} = angulo\ inclinación\ vertical\ cámara + \left(\frac{ángulo\ visión\ vertical}{2}\right) = 90° - \theta 2$$

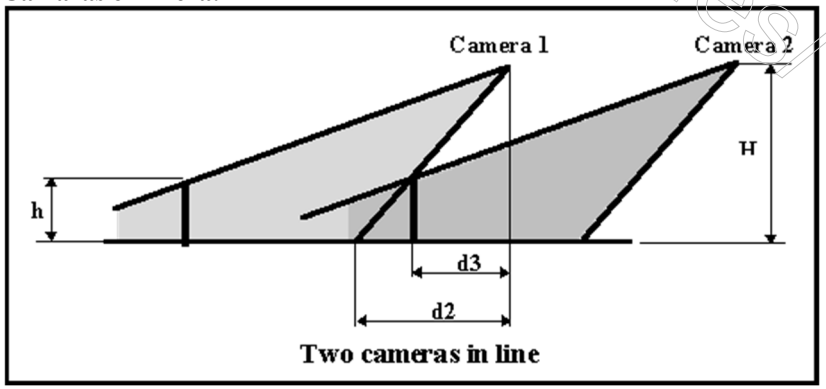
Angulo de incidencia máximo (entre cámara y objeto) para reconocimiento facial de personas = 10-15°
Angulo de incidencia máximo (entre cámara y objeto) para reconocimiento matriculas de coches < 30°

$$angulo\ incidencia\ mínimo \leq angulo\ inclinación\ vertical\ cámara \leq angulo\ incidencia\ máximo$$

Cálculo de la altura máxima de la cámara:

$$altura\ cámara\ máxima = h + d_2 x \tan(angulo\ incidencia\ máximo)$$

Cámaras en hilera:



$$d_3 = (H-h)x \tan\theta 2$$

Cálculo de la distancia horizontal entre dos cámaras en hilera:

$$distancia\ horizontal\ entre\ cámaras = D - d_3 = D - (H-h)x \tan\theta 2$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

http://todoelectronica.es/José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS PARA EL ANCHO DE BANDA Y ESPACIO DE DISCO DURO:

Cálculo del ancho de banda (cámaras IP diferentes):

$$Ancho\ banda\ (Mbit/s) = Bandwidth\ (Mbit/s) = \sum_{1}^{Cámaras} \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x 1024 x 8 x FPS x Actividad}{1000000}$$

$$= \frac{1024x8}{1000000} x \sum_{1}^{Cámaras} Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad$$

$$= 0{,}008192x(Frame\ Size_1\ (KBytes) x FPS_1 x Actividad_1 + Frame\ Size_2\ (KBytes) x FPS_2 x Actividad_2 + \cdots$$
$$+ Frame\ Size_{Cámaras}\ (KBytes) x FPS_{Cámaras} x Actividad_{Cámaras})$$

Cálculo del ancho de banda (cámaras IP iguales):

$$Ancho\ banda\ (Mbit/s) = Bandwidth\ (Mbit/s) = \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x 1024 x 8 x FPS x Actividad x Cámaras}{1000000}$$

$$= 0{,}008192 x Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras$$

$$\sim 0{,}0082 x Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras \sim \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras}{122}$$

Cálculo del espacio de almacenamiento o capacidad del disco duro (cámaras diferentes):

$$Espacio\ almacenamiento\ (GBytes)$$
$$\geq \sum_{1}^{Cámaras} \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x 1024 x FPS x Actividad x Días x Horas/Día x 60 x 60}{1000000000}$$

$$\geq \frac{1024x60x60}{1000000000} x \sum_{1}^{Cámaras} Frame\ Size\ (KBytes) x FPS\ x Actividad x Días x Horas/Día$$

$$\geq 0{,}0036864x(Frame\ Size_1\ (KBytes) x FPS_1 x Actividad_1 x Días_1 x Horas/Día_1 + Frame\ Size_2\ (KBytes) x FPS_2 x Actividad_2 x Días_2 x Horas/Día_2 x$$
$$+ \cdots + Frame\ Size_{Cámaras}\ (KBytes) x FPS_{Cámaras} x Actividad_{Cámaras} x Días_{Cámaras} x Horas/Día_{Cámaras})$$

Cálculo del espacio de almacenamiento o capacidad del disco duro (cámaras iguales):

$$Espacio\ almacenamiento\ (GBytes) \geq \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x 1024 x FPS x Actividad x Cámaras x Días x Horas/Día x 60 x 60}{1000000000}$$

$$\geq\ 0{,}0036864 x Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras x Días x Horas/Día \sim \frac{Frame\ Size\ (KBytes) x FPS x Actividad x Cámaras x Días x Horas/Día}{271}$$

$$\sim 0{,}45 x Ancho\ banda\ (Mbit/s) x Días x Horas/Día$$

FPS = Frame Rate = Fotogramas por segundo = IPS = Imágenes por segundo
Actividad escena (Movimiento o Alarma) = 0 a 1 (entre el 0 % y el 100 %)

Agregue un 20% a las necesidades mínimas de almacenamiento.

Cálculo del número de días de almacenamiento del disco duro:

$$Días = \frac{Espacio\ almacenamiento\ (GB) x 1000000000}{Frame\ Size\ (KB) x 1024 x FPS x Actividad x Cámaras x Horas/Día x 60 x 60} \sim \frac{271 x Espacio\ almacenamiento\ (GB)}{Frame\ Size\ (KB) x FPS x Actividad x Cámaras x Horas/Día}$$

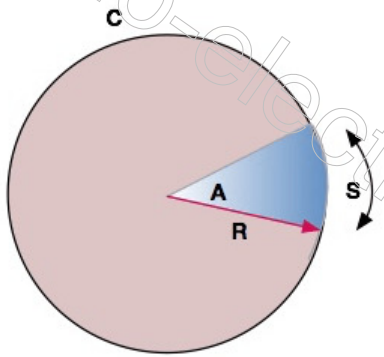
Las imágenes serán conservadas durante un plazo máximo de un mes desde su captación, transcurrido el cual se procederá al borrado.

Cálculo de la apertura o número F:

$$Apertura = número\ F = Fstop = \frac{distancia\ focal}{diámetro\ iris}$$

http://todo-electronica.es/José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS APROXIMADAS:



Cálculo aproximado del ángulo de visión vertical:

$$\text{ángulo visión vertical} \approx \frac{180\text{xaltura sensor}}{\pi\text{xdistancia focal}} \approx \frac{57{,}29\text{xaltura sensor}}{\text{distancia focal}} \approx \frac{180\text{xaltura imagen}}{\pi\text{xdistancia real}} \approx \frac{57{,}29\text{xaltura imagen}}{\text{distancia real}}$$

Cálculo aproximado del ángulo de visión horizontal:

$$\text{ángulo visión horizontal} \approx \frac{180\text{xanchura sensor}}{\pi\text{xdistancia focal}} \approx \frac{57{,}29\text{xanchura sensor}}{\text{distancia focal}} \approx \frac{180\text{xanchura imagen}}{\pi\text{xdistancia real}} \approx \frac{57{,}29\text{xanchura imagen}}{\text{distancia real}}$$

Cálculo aproximado de la altura de la imagen o escena:

$$\text{altura imagen} \approx \frac{\pi\text{xángulo visión verticalxdistancia real}}{180} \approx \frac{\text{ángulo visión verticalxdistancia real}}{57{,}29}$$

Cálculo aproximado de la anchura de la imagen o escena:

$$\text{anchura imagen} \approx \frac{\pi\text{xángulo visión horizontalxdistancia real}}{180} \approx \frac{\text{ángulo visión horizontalxdistancia real}}{57{,}29}$$

Cálculo aproximado de la distancia real:

$$\text{distancia real} \approx \text{radio} \approx R \approx \frac{\text{longitud circunferencia}}{2x\pi} \approx \frac{360\text{xanchura o altura imagen}}{2x\pi\text{xángulo visión}} \approx \frac{180\text{xanchura o altura imagen}}{\pi\text{xángulo visión}} \approx \frac{57{,}29\text{xanchura o altura imagen}}{\text{ángulo visión}}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo aproximado de la distancia focal:

$$distancia\ focal \approx radio \approx R \approx \frac{longitud\ circunferencia}{2x\pi} \approx \frac{360xanchura\ o\ altura\ sensor}{2x\pi xángulo\ visión} \approx \frac{180xanchura\ o\ altura\ sensor}{\pi xángulo\ visión} \approx \frac{57{,}29xanchura\ o\ altura\ sensor}{ángulo\ visión}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS PARA CÁMARAS ANTIGUAS O TRADICIONALES O BAJA DEFINICIÓN (CVBS, 960 H):

Cálculo de la altura de la imagen o escena:

$$altura\ imagen = \frac{100xaltura\ objeto}{\%\ vertical\ imagen}$$

Cálculo de la distancia focal:

$$f = distancia\ focal \geq \frac{altura\ sensorxdistancia\ real}{altura\ imagen} \geq \frac{altura\ sensorx\sqrt{distancia\ horizontal^2 + (altura\ cámara - altura\ objeto)^2}}{altura\ imagen}$$

Cálculo del porcentaje vertical de la imagen o pantalla que ocupa el objeto o persona en PAL:

$$\%\ vertical\ imagen = \frac{100xaltura\ objeto}{altura\ imagen} = \frac{100xaltura\ objetoxdensidad\ píxel}{resolución\ vertical}$$

Cálculo de nuevo porcentaje vertical de la imagen o pantalla que ocupa el objeto o persona para nueva resolución distinta a PAL:

Categoría	PAL	1080p	720p	WSVGA	SVGA	VGA	2CIF	CIF	QCIF
Identificación	100	38	56	67	67	84	139	139	139
Reconocimiento	50	19	28	34	34	42	70	70	139
Observación	25	10	14	17	17	21	35	35	70
Detección	10	4	6	7	7	9	14	14	28
Monitorización	5	2	3	3	3	5	7	7	14

Figura 2. Al leer la tabla, la representación del porcentaje de la altura del cuerpo en vertical debe ser de un 38% con una cámara HD con resolución 1080p.

$$nuevo\ \%\ vertical\ imagen = \frac{100x400}{nuevo\ Factor\ de\ Kellxnueva\ resolución\ vertical}$$

http://tecnologiaelectronica.es/Jose Antonio Sánchez Castillo

Cálculo de la densidad de píxel:

$$densidad\ píxel = píxeles/m\ = 2{,}5x\%\ vertical\ imagen\ (\mathrm{PAL})$$

$$densidad\ píxel = \frac{\%\ vertical\ imagenxresolución\ vertical}{100xaltura\ objeto}$$

Cálculo de la resolución de la cámara:

$$resolución\ cámara = resolución\ vertical\ efectiva = 80xAncho\ banda\ (MHz) = Factor\ de\ KellxNúmero\ de\ lineas\ horizontales\ visibles$$

$$Factor\ de\ Kell = 0{,}7\ (PAL)$$

$$Número\ de\ lineas\ horizontales\ visibles = 576\ (PAL)$$

Cálculo del ancho de banda analógico:

$$Ancho\ banda\ (MHz) = \frac{resolución\ cámara}{80}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS PARA CÁMARAS TÉRMICAS O DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA:

Cálculo del campo de visión instantáneo en mrad:

$$IFOV\ (mrad) = \frac{\pi x HFOV\ (°) x 1000}{180 x resolución\ horizontal} = \frac{17{,}45 x HFOV\ (°)}{resolución\ horizontal}$$

Cálculo del campo de visión instantáneo en mm:

$$IFOV\ (mm) = \frac{IFOV\ (mrad) x distancia\ real(mm)}{1000} = IFOV\ (mrad) x distancia\ real(m)$$

Cálculo de la distancia de medición:

$$distancia\ medición\ (m) = \frac{tamaño\ punto\ medir\ (mm)}{3 x IFOV\ (mrad)} = \frac{0{,}33 x tamaño\ punto\ medir\ (mm)}{IFOV\ (mrad)} = \frac{tamaño\ punto\ medir\ (mm) x resolución\ horizontal}{52{,}35 x HFOV\ (°)}$$

http://todoelectronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo

FÓRMULAS PARA ALIMENTACIÓN Y CABLEADO:

Cálculo de la intensidad de la fuente de alimentación de la cámara (depende del diseñador):

$I_{fuente\ de\ alimentación} \geq 1{,}20xI_{cámara} \geq \frac{I_{cámara}}{0{,}8333}$ (sobredimensionamiento del 20 %)

$I_{fuente\ de\ alimentación} \geq 1{,}25xI_{cámara} \geq \frac{I_{cámara}}{0{,}80}$ (sobredimensionamiento del 25 %) **Agregue un 25% a las necesidades mínimas de intensidad.**

$I_{fuente\ de\ alimentación} \geq 1{,}3xI_{cámara} \geq \frac{I_{cámara}}{0{,}7692}$ (sobredimensionamiento del 30 %)

$I_{fuente\ de\ alimentación} \geq 2xI_{cámara} \geq \frac{I_{cámara}}{0{,}5}$ (sobredimensionamiento del 100 %)

Cálculo de la potencia del SAI o UPS (Sistema de Alimentación Ininterrumpida):

$$Potencia\ del\ SAI\ (VA) \geq \frac{\sum Potencia\ cámaras\ (W)xFactor\ seguridad}{Factor\ de\ potencia} \geq \frac{\sum Potencia\ cámarasx1{,}4}{0{,}7} \geq 2x\sum Potencia\ cámaras\ (W)$$
$$\geq 2x\sum Votage\ cámaras\ (V)xIntensidadcámaras\ (A)$$

Factor de seguridad $=$ 1,4 (sobredimensionamiento del 40 %)
Factor de potencia $= \cos\varphi =$ 0,6 a 07

Cálculo de la autonomía del SAI o UPS:

$$tiempo\ autonomia\ SAI\ (minutos) = \frac{número\ bateriasxvoltage\ baterias\ (V)xcapacidad\ baterías\ (AH)xeficiencia\ del\ SAIx60}{Potencia\ del\ SAI\ (VA)}$$

$voltage\ baterías\ (V) = 12\ V$
$eficiencia\ del\ SAI\ = 0{,}9\ a\ 0{,}98\ (entre\ el\ 90\%\ y\ el\ 98\%)$

http://todoelectronica.es/José Antonio Sánchez Castillo

Cálculo de la caída de voltaje o ΔV del cable de alimentación de la cámara (depende del país):

$$\Delta V = \frac{\%}{100} x V_{fuente\ de\ alimentación}$$

1º método (basado en una caída de voltaje del 3 %):

$$\Delta V = 3\ \% \times V_{fuente\ de\ alimentación} = \frac{3x12\ V}{100} = 0{,}36\ V$$

2º método (basado en una caída de voltaje del 5 %):

$$\Delta V = 5\ \% \times V_{fuente\ de\ alimentación} = \frac{5x12\ V}{100} = 0{,}60\ V$$

3º método (basado en una caída de voltaje del 10 %):

$$\Delta V = 10\ \% \times V_{fuente\ de\ alimentación} = \frac{10x12\ V}{100} = 1{,}20\ V$$

Voltajes cámaras: 12 VDC, 24 VAC, 230 VAC.

$$\Delta V = 2xIxR = 2xI_{cámara} x\rho x \frac{L_{cable\ alimentación}}{s} = 2x0{,}0178x \frac{L_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{s} = \frac{L_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{28xs}$$

Cálculo de la sección mínima del cable de alimentación de la cámara:

$$s_{mínima\ cable\ alimentación} \geq \frac{\rho x2xL_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{\Delta V} \geq \frac{0{,}0178x2xL_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{\Delta V} \geq \frac{2xL_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{56x\Delta V} \geq \frac{L_{cable\ alimentación} x I_{cámara}}{28x\Delta V}$$

$$L_{cable\ alimentación} = longitud\ del\ cable\ de\ alimentación\ (m)$$

Cálculo de la longitud máxima del cable de alimentación de la cámara:

$$L_{máxima\ cable\ alimentación} \leq \frac{sx\Delta V}{\rho x2xI_{cámara}} \leq \frac{sx\Delta V}{0{,}0178x2xI_{cámara}} \leq \frac{28xsx\Delta V}{I_{cámara}}$$

http://todo-electronica.es/ José Antonio Sánchez Castillo