



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

FOTOGRAFIA ANALÒGICA I DIGITAL. SIMILITUDS I DIFERÈNCIES.

MARTA RAMÍREZ GARRIDO

**DIRECTOR: JAUME ESCOFET SOTERAS
DEPARTAMENT: ÒPTICA I OPTOMETRIA**

15 de Juny del 2018



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. Jaume Escofet Soteras, com a tutor i director del treball,

CERTIFICA

Que la Sra. Marta Ramírez Garrido ha realitzat sota la seva supervisió el treball Fotografia analògica i digital. Similituds i diferències, que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.

Sr. Jaume Escofet Soteras

Director del TFG

Terrassa, 15 de Juny de 2018

OBJECTIUS DEL TREBALL	7
RESUM	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. La càmera analògica i la càmera digital. Elements constitutius. Analogies i diferències	17
1.1 La càmera analògica	18
1.2 La càmera digital	20
1.3 Diferències entre les càmeres analògiques i digitals.....	21
2. El suport de registre. La pel·lícula en front del sensor d'imatge	21
2.1 El format.....	21
2.2 Format analògic. Característiques de la pel·lícula.....	23
2.2.1 La pel·lícula i la seva sensibilitat ISO.....	23
2.2.2 Tipus de pel·lícules	24
2.3 Format digital. Característiques del sensor d'imatge	27
2.3.1 El sensor i el nombre de píxels	27
2.3.2 CCD versus CMOS	28
2.3.3 El balanç de blancs	29
3. El procés de revelatge	31
3.1 Revelatge analògic	31
3.1.1 El procés de revelatge. Característiques	31
3.2 Revelatge digital	32
3.2.1 El processament de l'arxiu raw	32
4. Característiques de la càmera digital emprada	32
5. Característiques de la càmera analògica emprada	34
6. Digitalització de la pel·lícula	35
6.1 Mitjançant càmera fotogràfica	36
6.1.1 Sistema de columna.....	36
6.1.2 Sistema adaptat al mòbil.....	36
6.2 Post processament digital de la imatge	37
7. Qualitat de la imatge obtinguda	37
7.1 Mesura de la qualitat de forma subjectiva.....	37
7.2 Mesura de la qualitat de forma objectiva	40
7.2.1 Test USAF.....	40
7.2.2 Test de la MTF	41
8. Resultats	43

8.1 Fotografies obtingudes, procés de revelatge, digitalització i post processament.....	43
8.2 Mètode de digitalització	50
8.3 Qualitat de la imatge	52
8.3.1 Mesura de la resolució.....	52
8.3.2 Mesura de la MTF	53
8. Conclusions	55
9. Bibliografia	57
10. Annex.....	59

OBJECTIUS DEL TREBALL

Els objectius d'aquest treball son:

1. Esbrinar les diferències entre la càmera analògica i la digital tant en la seva constitució, com en el seu funcionament i en la obtenció de les imatges.
2. Comprendre el funcionament d'ambdós càmeres i posar-ho en pràctica mitjançant la captació d'imatges per aquest treball.
3. Obtener la imatge analògica en blanc i negre a través del procés de revelat.
4. Convertir la imatge analògica en digital fent servir diferents mètodes de digitalització
5. Comparar els diferents mètodes de digitalització de negatius a fi d'establir quin és el millor d'ells.
6. Saber quina de les dues càmeres emprades permet obtenir imatges de més qualitat.
7. Mesurar la qualitat i la nitidesa de les imatges obtingudes.
8. Processar digitalment els diferents arxius RAW obtinguts amb la càmera digital.
9. Aplicar tècniques de processament de la imatge digital que permetin obtenir la millor imatge final.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

LA FOTOGRAFIA ANALÒGICA I DIGITAL. SIMILITUDS I DIFERÈNCIES

RESUM

La càmera fotogràfica és un sistema de captació d'imatges. Aquesta, pot ser analògica o digital. La principal diferència entre totes dues càmeres és el suport sensible. En el cas de la càmera analògica, la forma d'enregistrar les imatges és mitjançant la pel·lícula fotogràfica, mentre que amb la càmera digital es fa servir el sensor digital.

La qualitat de la imatge i la seva resolució depèn del suport sensible de la càmera. En aquest treball s'ha analitzat quin de les dues aporta més qualitat i resolució. Per fer-ho s'ha fet la mateixa fotografia en format digital i analògic i s'han comparat les imatges tant objectivament, com subjectivament. En ambdós casos, s'ha conclòs que la millor imatge s'obté mitjançant la càmera digital.

Per tal de comparar aquestes dues imatges, hi ha d'haver un pas previ de revelat i digitalització del negatiu. Per realitzar la digitalització, s'ha dut a terme mitjançant dos sistemes: un sistema de columna, i un sistema adaptat al telèfon mòbil. Un altre incògnita que s'ha plantejat durant el treball era quin dels dos sistemes donaria una imatge més òptima. Després de tot un conjunt de proves s'ha vist que el sistema de columna aporta la imatge de més qualitat.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

LA FOTOGRAFIA ANALÓGICA Y DIGITAL. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS.

RESUMEN

La cámara fotográfica es un sistema de captación de imágenes. Esta, puede ser analógica o digital. La principal diferencia entre las dos cámaras es el soporte sensible. En el caso de la analógica, la forma de captación de las imágenes es mediante la película fotográfica. En cambio, en la fotografía digital se utiliza el sensor fotográfico.

La calidad de la imagen y su resolución dependen del soporte sensible de la cámara. En este trabajo se ha analizado cuál de las dos cámaras aporta mejor calidad y resolución. Para llevarlo a cabo, se ha tomado la misma fotografía en formato digital y analógico para su posterior comparación, tanto de forma objetiva, como subjetiva. En ambos casos se ha concluido que los mejores resultados se obtienen con la cámara digital.

Para comparar las dos imágenes, se ha realizado un paso previo de revelado y digitalización del negativo. Para digitalizarlo se han utilizado dos sistemas: un sistema de columna y un sistema adaptado al móvil. Otra de las incógnitas que se plantearon era cuál era la mejor forma de digitalizar los negativos. Tras un conjunto de pruebas se ha concluido que el sistema de columna aporta una imagen de mejor calidad.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

**ANALOG AND DIGITAL PHOTOGRAPHY.
SIMILITIES AND DIFFERENCES.**

ABSTRACT

Photographic camera is a system for capturing images. It can be analog or digital. The main difference between the two cameras is the sensitive support. In analog case, the way of capturing images is through the photographic film. In contrast, digital photography uses the photographic sensor.

The image quality and its resolution depend on the sensitive support of the camera. In this work we have analyzed which of the two cameras provides better quality and resolution. To carry it out, the same photograph has been taken in digital and analog format for later comparison, both objectively and subjectively. In both cases it has been concluded that the way to obtain better results is with the digital camera.

To compare the two images, a previous step was developing and digitizing the negative. To digitize it, two systems have been used: a column system and a system adapted to the mobile phone. Another of the unknowns that were raised was what the best way to digitize the negatives was. After a series of tests it was concluded that the column system provides a better quality image.



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

ANALOG AND DIGITAL PHOTOGRAPHY. SIMILITIES AND DIFFERENCES.

ABSTRACT

Cameras are devices that allow us to capture images and get photos. With the cameras and by system of lenses and mechanisms that we will explain later, we can capture the light in the photographic film (in the case of the analog camera) and in the sensor (in the case of the digital camera). To carry out this work we will focus on reflex cameras.

The reflex cameras works like the following way: in the previous moment of the photo, the light that comes from the lens are reflected on the mirror to send the image to a prism that deviates the light in order to send the image to the viewfinder and we can have a vision of what will be photographed.

In order to take the photograph, exposure time must be established in addition to opening the diaphragm. The correct combination is indicated by the exposure meter. When we want to proceed to take the picture, we press the trigger. This causes the mirror to rise and the light penetrates through the camera until it reaches sensitive support.

The cameras can have several systems of focusing. The first thing we will explain will be the system of the circle of the broken image. This consists of two prisms connected so that if the image is not focused, it looks broken. However, if the image falls on the focus of the camera, the two parts of the image come together. This circle is surrounded by a ring of micropisms that make the contours of the image look blurry if the image is out of focus. The other system focusing on the camera is the autofocus. This analyzes the image until it reaches the correct approach.

The main difference between analog and digital cameras is sensitive support. In the case of the analog camera we use of photographic film and in the case of the digital one, the sensor.

The photographic film is a sensitive material that adopts the form of an extensive emulsion on light-sensitive media (usually AgBr). When the emulsion is subjected to a light exposure the image is recorded in the film. In order to obtain a final image, you must follow a photographic development process that allows you to obtain a final image that is unchanged in other exposure.

The sensor of the digital camera is formed by an array that contains millions of photosensitive cells called pixel. Pixels are able to transform the light that comes from the camera in electricity. The sensor works as follows: when the camera's shutter is pressed, the shutter opens and allows the light to arrive to the sensor. This converts light into electricity that accumulates in a tank called a condenser. When the shutter of the camera is closed, each cell of the sensor has a certain level of electrons depending on the amount of light it has received. If a cell has not received light, it will not have electrons and it will be a dark area in the image. On the other hand, if the cell has the device full of electrons it will correspond to an area where a lot of light has come and it will be a white zone. The tones vary linearly with the number of electrons in each cell.

As we have mentioned, in order to remain the image stable in the photographic film, it must follow a development process. This is to apply a series of liquids so that the sensitive support of the photographic film is reduced to obtain the negative of the image. The first step is to insert the film roller into a developing tank. To do this, you must roll in a spiral. This process must be done completely in the dark. When the roller is in the developing tank, the lights can be turned on and we can apply the first liquid, the developer. This must be in contact with the film as long as the manufacturer of the developer indicates. After this time, we took the developer of the developing tank and added the stop bath. This liquid stops the developer's action and is also applied following the manufacturer's instructions. After the indicated time, we put the stop bath in its container and put the last liquid of the process of developing, the fixer. After the developing and stop process, not all the silver crystals of the sensitive support of the film have become metallic silver, and they may be blackened when light falls on it. For this reason, they should be dissolved with an acid, which is one of the components of the fixer. Again, this liquid is applied following the manufacturer's instructions. After this time, the liquid is returned to its container and we proceed to clean the negative by constantly circulating water for the developing tank for five minutes. After these five minutes, we put a humectant so that there are no marks of the impurities of the water in the negative. Finally, the excess water is removed and the negatives are left dry.

In order to obtain more contrasting and aesthetically images, developing of the digital image is done by image processing. In our case, the software that has been used to process the image has been Adobe Camera RAW.

To carry out this work, it had been taken a set of photographs with both cameras, digital and analog. The digital camera used has been the Canon EOS 550D and the analog has been the Praktica MTL 5B. With these two cameras, I took the same photo in analog format and digital format.

The practical part of this work has two parts. On the one hand, the analog photography and, on the other, the digital photography.

In case of analog photography, I have taken a series of photograph that we have developed in the laboratory. In order to process these images, we have digitized it. This process has been done in two ways: with a column system and with a system adapted to the mobile phone. The column system consists of a column located on a base where a photographic camera is attached perpendicular to the base of the column. The camera used to digitalize the negatives has been the Nikon D70S with a Nikon 40 mm / f208 G AF-S objective. At the base of the column we place the negative illuminated by a white luminous screen. The system we have used to digitalize the image consists in photographing each negative and transfer the photos to the computer in order to be able to do an image processing.

The system adapted to the mobile phone is called Smartphone Film Scanner. It is a negative scanner for Smartphones. It formed by a base that has a luminous screen where the negative is placed. Above this base there are some modules that provides different distance between the camera and the negative. In the upper part there is a device of subjection to the mobile. These modules allow adjusting the distance between the mobile and the film in order to maximize the resolution.

With these two systems we obtain two digital images of the negatives. In order to determine which of the two contributes with a better quality, a completely subjective process has been followed, where only the visual differences has been considered. We have obtained that in the system that provides a more reliable digitization of the negative is the column system, since it uses a camera that has a bigger sensor than that of the mobile phone and by this way we can get an image with more resolution.

The second part of this work consists in obtaining the digital image, processing it by image processing and comparing it with the analog images digitalized that we have obtained with the column system. This second part is done following objective criterion (with the USAF test and the slanted edge test) and in a subjective way (using the observer's criterion). In order to know in a subjective way which of the two pictures has a better image quality and better resolution, specific images with different characteristics to be valued have been taken. For example, scenes objects that have letters of different sizes. When these images have been obtained, an enlargement of both has been made in order to see the minimum level of detail that can be resolved by each camera. We have obtained that the camera that performs best image quality and best resolution is the digital camera.

As explained before, the objective methods that allows us to know which of the two images has better quality, are the USAF test and the slanted edge test. The USAF test consists in a set of 3 white and black bars, equally spaced, of the same thickness and highly contrasted. Space frequencies is found in groups and elements where each group contains 6 elements. The resolution limit of a system found by means of the image of the resolution test. It consists of locating the element of greater frequency that can be solved. In order to carry out this part of the work, the resolution of the images obtained with the analog and digital camera has been examined. Digital images have been examined by means of a magnification of the image of the test on the screen the analog images by means of a microscope. After looking at the resolution of both cameras with different aperture parameters and exposure time, it has been determined that the camera that provides the most resolution is the digital one.

The slanted edge test is used to assess the sharpness that is measured through MTF (Modulation Transfer Function) of an image of this test. This new parameter relates the contrast of the image with the spatial frequency. In the slanted edge test, the transition between the black and white areas may have different extension. If the image edge was perfect, the width of this zone would be null. Since the camera is not perfect this width exists. One way to measure this width is by means of the derivative of the edge (edge) function. Finally the MTF is obtained from the module of the Fourier Transform $|TF|$ of the LSF function (Line Spread Function). Analyzing different functions of the MTF we have obtained that, again the digital camera is who gives us the better result.

1. La càmera analògica i la càmera digital. Elements constitutius. Analogies i diferències

Les càmeres fotogràfiques són dispositius que ens permeten capturar imatges i obtenir fotografies. Amb les càmeres i mitjançant un sistema de lents i mecanismes que explicarem més endavant, aconseguim capturar la llum en la pel·lícula fotogràfica (en el cas de la càmera analògica) i en el sensor (en el cas de la càmera digital). La figura 1 mostra una càmera analògica (a) i una càmera digital (b).



Figura 1. Fotografia de dues càmeres réflex (a) analògica (b) digital.

Per a dur a terme aquest treball ens centrarem en les càmeres reflex. Aquestes càmeres incorporen un mirall pla que permet al fotògraf veure a través del visor la mateixa imatge que capturarà la càmera.

Tant la càmera digital com la analògica tenen elements constitutius comuns:

- **Objectiu:** Part de la càmera per on entra la llum.
- **Visor:** Espai pel qual s'observa la imatge a fotografiar.
- **Disparador:** Botó amb el qual s'activa el mecanisme de captació de la imatge.
- **Exposímetre:** Indica la combinació d'apertures i la velocitat necessària per fer la fotografia.
- **Anell d'apertures:** Diferents valors que pot tenir el diafragma d'apertures.
- **Comandament de velocitats:** Diferents valors de la velocitat d'obturació.

1.1 La càmera analògica

Parts de la càmera analògica.

La càmera analògica, a més d'estar constituïda pels elements anteriors, també està formada per aquests més específics:

- **Allotjament del chasis:** Espai on es col·loca el rodet.
- **Rodet receptor:** Rodet que recull la pel·lícula ja fotografiada.
- **Dents de tracció de la pel·lícula:** Petits dents que encaixen en els orificis quadrats de la pel·lícula.
- **Palanca d'arrossegament:** La seva finalitat es desplaçar els fotogrames exposats.
- **Comptador d'exposicions:** Porta el compte de les fotografies preses.
- **Alliberador de la pel·lícula:** Serveix per alliberar les dents d'arrossegament i permet que el rodet es rebobini.

L'element diferencial de la càmera analògica, encara que és extern a la càmera, és el sensor analògic, és a dir, la pel·lícula fotogràfica. Aquest s'allotja a la part posterior de la càmera per tal de rebre la llum que prové de l'objectiu.

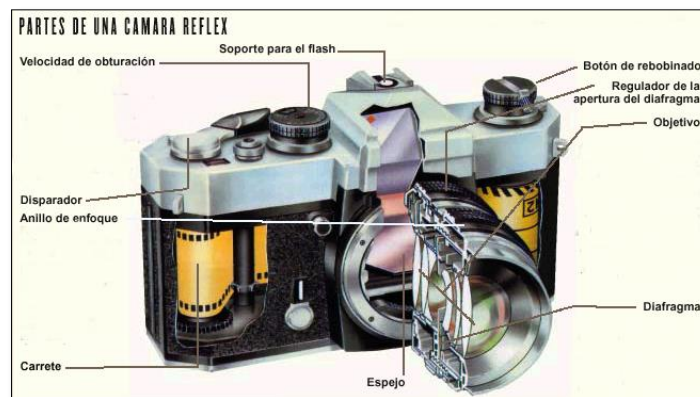


Figura 2. Càmera réflex analògica

La figura 2 mostra una càmera analògica reflex amb els seus components bàsics.

Funcionament

La Figura 3 mostra el funcionament de la càmera reflex analògica. En la imatge de l'esquerra es representa un esquema amb el camí que segueix un raig de llum en una càmera reflex en el moment previ a fer la fotografia i en la imatge de la dreta, en el moment de fer la fotografia.

Si observem l'esquema del moment previ a la fotografia, els raigs que provenen de l'objectiu (1) es reflecteixen sobre el mirall (2) i envien la imatge al pentaprisma (3) que

desvia la llum (4) per tal d'enviar la imatge al visor (5) i puguem tenir una visió del que es fotografiarà.

Per tal d'obtenir una fotografia, s'ha d'establir un temps d'exposició de la pel·lícula a més de l'apertura del diafragma. Qualsevol de les dues es pot modificar, la combinació correcta ens la indica l'exposímetre. Quan tenim l'objecte enfocat amb una apertura de diafragma i un temps d'exposició correcte procedim a fer la fotografia. Per això fem pulsar el disparador que fa que el mirall s'aixequi (2), la llum penetri per la càmera fins a arribar a la pel·lícula, que queda exposada (7). Per tal de prendre una altra fotografia s'haurà de fer córrer el rodet mitjançant la palanca d'arrossegament que farà moure la pel·lícula gràcies a les dents de tracció situades als forats d'aquesta, que s'enrotllarà al rodet receptor.

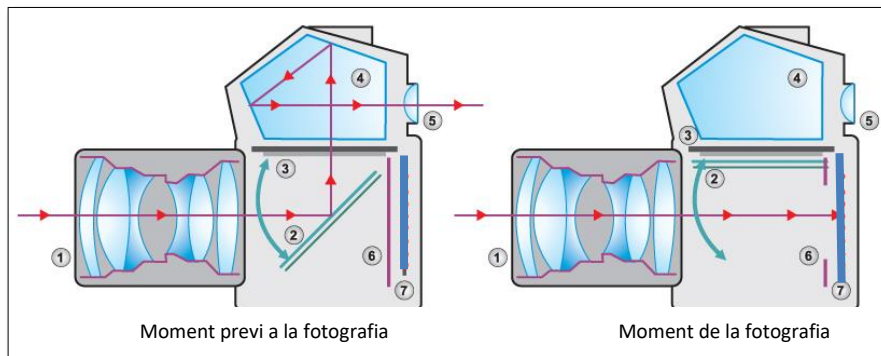


Figura 3. Esquema del funcionament d'una càmera reflex

Sistema d'enfocament – Cercle de imatge partida

En les càmeres analògiques hi ha dos tipus d'enfocament: manual o autofocus. En el cas de la càmera que s'ha fet servir, el tipus d'enfocament era manual.

El sistema d'enfocament de la càmera analògica emprada està format per dos prismes semicirculars situats en cunya, de tal manera que si la imatge està desenfocada es mostra dividida en dues parts. Quan ambdós parts s'uneixen, la imatge es troba en el focus.

Al voltant d'aquest cercle hi ha un anell de micropismes que té un funcionament similar. Fa servir una reixeta de micropismes amb forma d'anell que provoca que quan la imatge estigui desenfocada, la llum es refracta produint contorns borrosos. En la Figura 4 hi ha una il·lustració sobre aquest sistema.

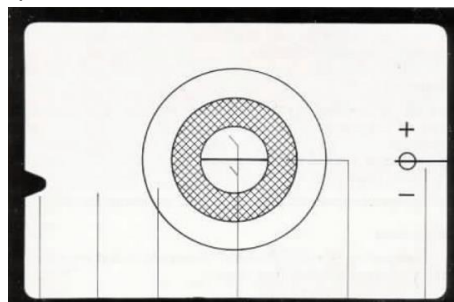


Figura 4. Sistema d'enfocament de la càmera analògica

1.2 La càmera digital

Parts de la càmera digital

A més dels elements comuns esmentats anteriorment, la càmera digital conté dos elements que la diferencien de la analògica. La càmera digital conté una pantalla LCD de previsualització on es permeten seleccionar paràmetres (com són la sensibilitat del sensor, el nombre de diafragma o el temps d'exposició) i també permet veure les fotografies preses a més d'aportar informació sobre la imatge, com pot ser el seu histograma. Un altre distinció respecte de l'analògica és el sensor electrònic en lloc de la pel·lícula fotogràfica. En el cas de les càmeres digitals, el sensor forma part de la càmera juntament amb tota una sèrie de tecnologia per l'emmagatzemat de la informació que explicarem més endavant.

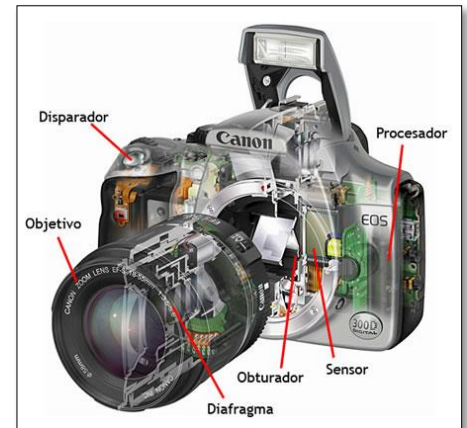


Figura 5. Esquema d'una càmera digital

En la Figura 5 es pot observar un esquema dels elements constitutius de la càmera digital.

Sistema d'enfocament – Autofocus

En els sistemes d'autofocus, típic de les càmeres digitals, la càmera i l'objectiu treballen de forma conjunta per tal d'enfocar la imatge de forma automàtica. Quan es polsa el disparador fins la meitat, el sistema analitza la imatge fins aconseguir l'enfocament correcte. Hi ha diversos sistemes d'enfocament automàtic, però els més importants són el de detecció de fase i detecció de contrast.

El sistema de detecció de fase consisteix en enviar la llum fins al sensor autofocus. Quan la llum arriba en aquest punt, travessa una matriu de microlents que divideixen la llum per formar dues imatges. El processador de la càmera compara les dues imatges i dona instruccions a l'objectiu per realitzar l'enfocament correcte.

El sistema d'enfocament automàtic per detecció de contrast es basa en el principi que el contrast és major si la imatge està enfocada. Quan l'objectiu vol enfocar, el processador de la càmera analitza el contrast de les imatges que arriben al sensor, determinant l'enfocament correcte.

1.3 Diferències entre les càmeres analògiques i digitals

La Taula 1 mostra les principals diferències entre les càmeres analògiques i digitals.

Taula 1. Diferències entre les càmeres digitals i analògiques.

CÀMERA ANALÒGICA	CÀMERA DIGITAL
<ul style="list-style-type: none">• La forma d'enregistrament de les imatges es fa mitjançant la pel·lícula fotogràfica.• Aquesta pel·lícula ha de passar un procés de revelat per tal d'obtenir les imatges.	<ul style="list-style-type: none">• La forma d'enregistrament de les imatges es fa mitjançant un sensor que posteriorment guarda la informació en una targeta de memòria.• En aquest cas, per a l'obtenció de la imatge no cal un procés de revelat. La imatge es visualitza en una pantalla mitjançant un software específic.

2. El suport de registre. La pel·lícula en front del sensor d'imatge.

2.1 El format

Al món de les càmeres fotogràfiques existeixen una gran varietat de formats que tenen a veure amb la mida física dels sensors de les càmeres digitals o amb la mida de la pel·lícula en la càmera analògica. La mida del sensor determina la resolució o el nombre de Megapíxels de les imatges en el cas de la càmera digital. La figura 6 mostra a la esquerre un esquema d'una pel·lícula fotogràfica i a la dreta una representació d'un sensor fotogràfic d'una càmera digital on cada quadrat correspon a un píxel.

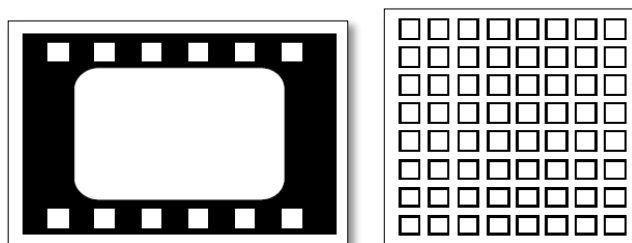


Figura 6. Comparació entre pel·lícula fotogràfica i sensor digital.

Els diferents formats de les càmeres fotogràfiques són els següents:

- **Gran format:** Són càmeres que utilitzen formats que van des de 10 x 12 cm a 20 x 25 cm, utilitzades generalment en estudis de fotografia professional.
- **Format mig:** Són càmeres amb sensors de mida al voltant dels 36 x 48 mm. També es fan servir per estudis de fotografia professional.
- **Format complet:** o Full Frame, són càmeres amb sensors, la mida dels quals són 36 x 24 mm, equivalent a una mida de pel·lícula de 35 mm. Les càmeres amb aquests tipus de sensors són utilitzades per fotògrafs professionals i aficionats.

- **APS-S, APS-H:** Són càmeres de dimensions de 28.7 x 19 mm (APS-H Canon) 23.6 x 15.7 mm (APS-C Nikon) i 22.2 x 14.8 mm (APS-C Canon). Són càmeres de tipus semi-professional.
- **Quatre terços:** Es diu així perquè la mida del sensor es de 4/3 de polsada, equivalent a 17.3 x 13 mm. Aquestes, són càmeres compactes sense mirall, però amb lents intercanviables. Aquest són un tipus de càmeres d'ús amateur.

En la figura 7 es representen els diferents tipus de formats en funció de les diferents mides dels registres sensibles. A dalt a l'esquerra es mostren els diferents tipus de sensor expressats en polsades. A la dreta, la imatge superior mostra la mida del sensor Full Frame, en comparació amb un sensor amb un factor de retall 1.5x (mida del sensor de les càmeres utilitzades per aficionats) i un sensor amb un factor de retall de 7x (comunament el factor de retall de les càmeres dels telèfons mòbils). A la imatge inferior es mostren els diferents tipus de mida de sensor expressats en mm.

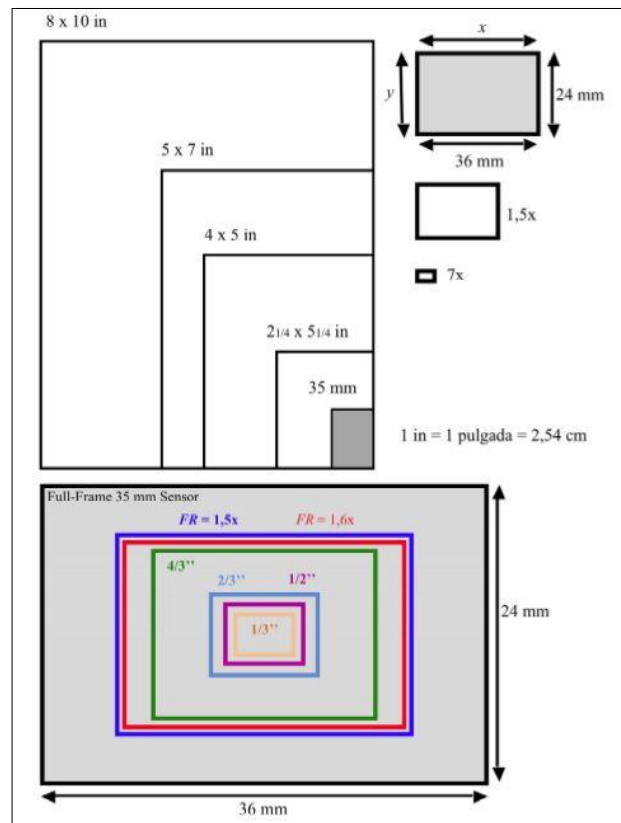


Figura 7. Comparació entre les diferents mides dels sensors

Un factor important a l'hora de comparar la mida dels sensors és el factor de retall (FR). Aquest, compara la mida del sensor universal o Full Frame, amb la mida del sensor emprat per la càmera a considerar. La mida del sensor Full Frame correspon a la mida de la pel·lícula en el format analògic (24 mm x 36 mm).

El factor de Retall es defineix com:

$$FR = \frac{d_0}{d} \quad (1)$$

La d_0 correspon al valor de la diagonal del sensor universal i la d correspon a la diagonal del sensor de la càmera emprada.

En la figura 8 es mostra la mida dels sensors més utilitzats en comparació amb el Full Frame. Sobre cada un dels formats, es mostra un tant per cent, que indica el percentatge d'àrea que ocupa del Full Frame.

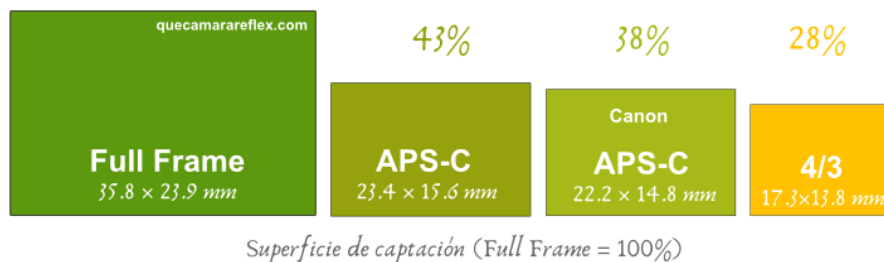


Figura 8. Representació dels sensors més utilitzats

2.2 Format analògic. Característiques de la pel·lícula

Una pel·lícula fotogràfica és un material sensible que adopta la forma d'una emulsió extensa sobre un suport sensible a la llum (generalment halurs de plata (AgBr i AgCl)). En la figura 9 es podem observar les diferents capes que constitueixen la pel·lícula fotogràfica. Les capes fotosensibles més modernes són de sals de plata amb una mida variable de gra que afecta a la sensibilitat de la pel·lícula. Quan la emulsió es sotmet a una exposició controlada de llum o raigs X la imatge queda gravada a la pel·lícula. Per obtenir una imatge final, inalterable en futures exposicions a la llum, s'apliquen a la pel·lícula una sèrie de processos químics, anomenat revelat fotogràfic.

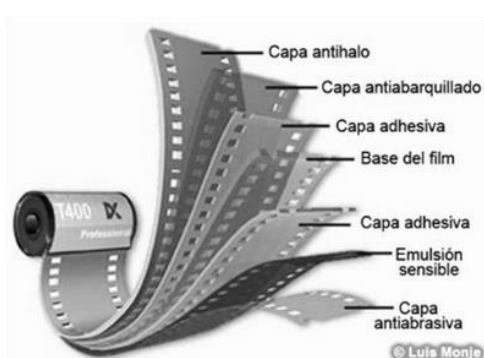
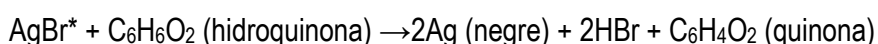
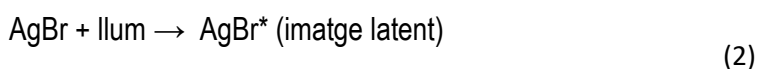


Figura 9. Esquema de la pel·lícula fotogràfica

Les pel·lícules en blanc i negre només tenen una capa d'emulsió, mentre que les de color tenen tres superposades, vermell, blau i verd. La pel·lícula negativa en color registra els colors del negatiu com a complementaris per a que reverteixin després del positiu. La pel·lícula en color invertible o diapositiva produeix directament un positiu.

2.2.1 La pel·lícula i la seva sensibilitat ISO

Tal com hem esmentat, les emulsions de les pel·lícules estan formades per diminutes partícules fotosensibles d'halurs de plata. Aquestes partícules canvien les seves propietats en ser exposades a la llum, i un cop revelada l'emulsió, són les que canvien de tonalitat per a formar finalment la imatge. A continuació es mostra la reacció química que es produeix en la pel·lícula i durant el procés de revelat.



La pel·lícula amb una emulsió extensa de bromur de plata, es redueix en arribar la llum. Mitjançant aquesta reducció, en aplicar el revelador (hidroquinona), es converteix en plata i obtenim el color negrós de la plata en la pel·lícula. Els llocs on no hi ha arribat llum, no s'ennegreixen. D'aquesta manera s'obté el negatiu de la imatge.

En les pel·lícules d'alta sensibilitat, aquestes partícules d'halurs de plata son tan grans que es mostren en la fotografia final en forma de textura granular.

El gra ofereix cert grau d'imperfecció a la imatge ja que no tots reaccionen per igual amb la mateixa intensitat de llum. Amb l'ampliació suficient no només podrem observar la diferència si no, a més, podrem observar la separació entre cada un d'aquests grans i els espais buits que queden al mig. El gra proporciona certa textura a la imatge i en molts dels casos aporta certa calidesa o caràcter artístic a la imatge, al igual que pot espatllar la imatge que requeria cert grau d'homogeneïtat o puresa.

2.2.2 Tipus de pel·lícules

2.2.2.1 B/N

Negatiu en blanc i negre: S'obté una imatge de tons grisos inversa a la original (les zones lluminoses s'observen fosques o negres i les ombres s'observen de colors grisos clars o transparents). La pel·lícula ortocromàtica es sensible a tot l'espectre excepte als vermells. La pancromàtica és sensible a tots els colors de l'espectre visible.

- **La pel·lícula ortocromàtica:** Les emulsions ortocromàtiques posseeixen una sensibilitat espectral entre 340 i 590nm. Són emulsions insensibles a la regió vermella de l'espectre i una part significativa del taronja. Les pel·lícules ortocromàtiques posseeixen una elevada resolució i un bon rendiment tonal. Són un tipus de pel·lícula molt resistent a la sobreexposició.
- **La pel·lícula pancromàtica:** En els materials pancromàtics, la seva sensibilitat s'estén des dels 370 fins als 680 nm. Comprenen, per tant, la regió del blau, turquesa, verd, groc, taronja i gran part del vermell. Encara que s'aproxima no es exactament igual a l'espectre visible. Davant d'alts continguts de vermell els materials pancromàtics poden mostrar certa pèrdua de sensibilitat i per tant, pèrdua de certs detalls per enfosquiment.

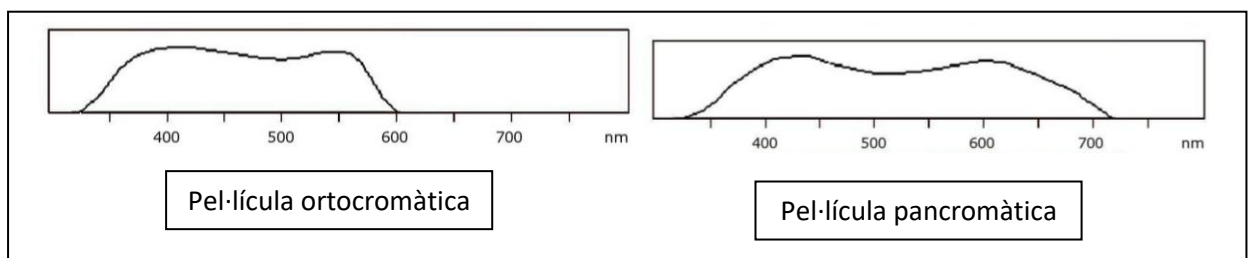


Figura 10. Representació de l'espectre en els diferents tipus de pel·lícula en B/N

En la figura 10 podem veure la sensibilitat de cada una de les pel·lícules sobre l'espectre. A l'esquerra observem com la sensibilitat de la pel·lícula ortocromàtica disminueix en la regió de IR. En canvi, en la pel·lícula pancromàtica augmenta en aquesta regió.

2.2.2.2 Color

Negatiu en color: En aquest negatiu s'obté una imatge en els colors complementaris dels originals.

Els negatius en B/N tenen una composició més senzilla que la pel·lícula en color. El negatiu en color està format per varies capes més que la pel·lícula monocromàtica, en la que cada una de les capes sensibles, reacciona a cada un dels tres colors bàsics de l'espectre, el magenta, cian i groc. A més d'aquestes capes de color, és necessari incloure tres capes més entre cada color per tal d'evitar que les longituds d'ona del color posterior passin i emulsionin la següent capa. En la figura 11 es poden observar les diferents capes de les pel·lícules en color.

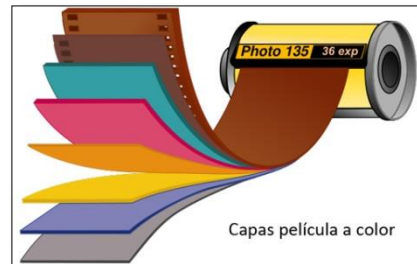


Figura 11. Capes de les pel·lícules en color

2.2.2.3 Diapositiva



Figura 12. Diapositives emmarcades per a la projecció

Una diapositiva és una fotografia positiva creada en un suport transparent a partir de mètodes fotoquímics amb la finalitat de ser projectada. Es diferencia de la pel·lícula en negatiu pel fet que en aquest tipus de fotografia s'obté directament el positiu. La diapositiva es feia servir per fer projeccions de pel·lícules al cinema o per dur a terme presentacions ja que dona una imatge positiva sense necessitat de negatius. En la figura 12 s'aprecien les diapositives emmarcades per tal de dur a terme la projecció d'aquestes.

A mode de resum, a la figura 13 es mostren els tres tipus de suports esmentats. La figura 13 (a) mostra un negatiu de fotografia en B/N. La figura 13 (b) mostra un negatiu de fotografia en color. La figura 17 (c) mostra una diapositiva.

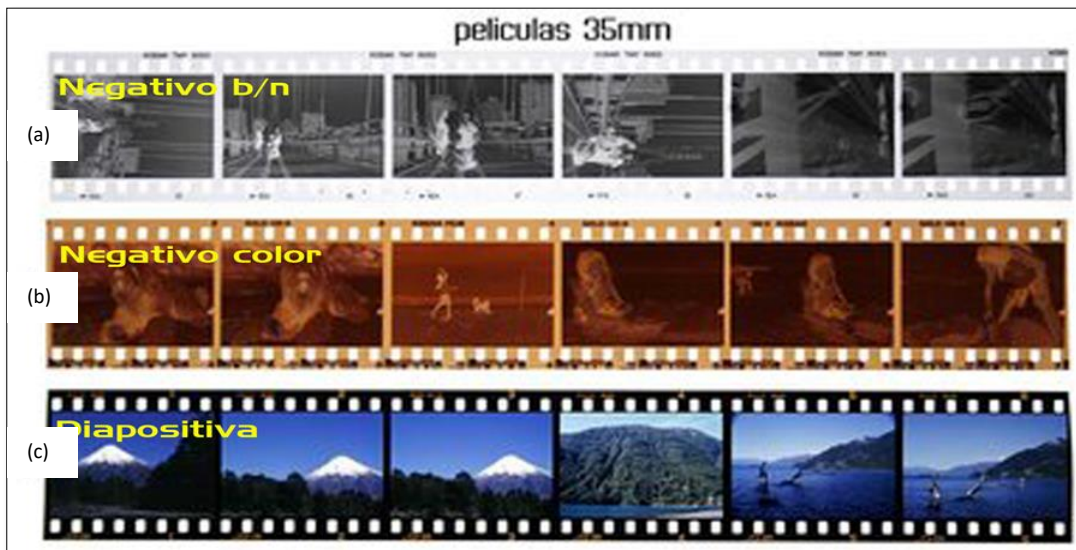


Figura 13. Comparació dels diferents tipus de pel·lícules. a: Pel·lícula B/N; b: Pel·lícula color; c: Diapositiva

2.2.3 Tipus de pel·lícula i tipus de llum

Hi ha diferents tipus de pel·lícules en funció de la llum que hi arriba, aquestes tenen diferents tipus de sensibilitat per tal que tant imatges en interior com en exteriors tinguin un aspecte cromàtic el més fidedigne possible. Podem classificar-les en:

Pel·lícules per a llum de dia: Estan equilibrades a 5600K (que és la temperatura mitja de la llum solar a mig dia).

Pel·lícules de llum de tungstè: Serveixen per fer fotografies amb una il·luminació amb làmpades fotogràfiques, equilibrades a 3200K si es de tipus A i a 3400K si es de tipus B. Generalment, aquestes pel·lícules s'utilitzen per fotografies en interior i sense flash, amb una bombeta incandescent com a font lumínica.

Per a la resta d'il·luminacions es poden fer servir els següents filtres correctors del color, depenen del tipus de pel·lícula emprada. Alguns exemples són:

Pel·lícula per a llum de dia amb il·luminació de tungstè el filtre emprat és el filtre 80A de fabricant Kodak.

Pel·lícula per a llum de dia amb il·luminació halògena el filtre emprat és el Filtre 80B del fabricant Kodak.

Pel·lícula per a llum de dia amb il·luminació fluorescent el filtre emprat és el Filtre Magenta del fabricant.

Pel·lícula de llum de tungstè B amb llum de dia el filtre emprat és el Filtre 85B del fabricant Kodak.

2.3 Format digital. Característiques del sensor d'imatge

2.3.1 El sensor i el nombre de píxels

El sensor de la càmera fotogràfica digital està format per milions de cel·les fotosensibles, cada una d'elles de mida microscòpica anomenades píxels. Aquestes cel·les mitjançant un fotodíode, transformen la llum en electricitat. Les cel·les només poden detectar la intensitat de la llum, no el color. Els sensors inclouen filtres que descomponen la llum en tres components: vermell, verd i blau. En la majoria dels sensors s'utilitza un filtre de tal forma que una cel·la només rep la llum corresponent a la component vermella, blava o verda (filtre Bayer). En aquest filtre, hi ha més component verda ja que l'ull és més sensible al color verd que al blau o al vermell. En la figura 14 es pot veure una representació del filtre Bayer on clarament es veu que el color que predomina és el verd (de cada quatre filtre, dos són verds, un vermell i un blau).

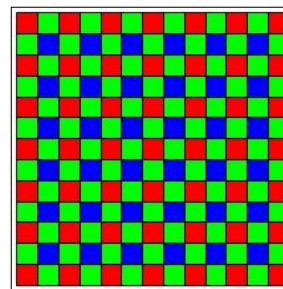


Figura 14. Representació del filtre Bayer

La cel·la del sensor funciona de la següent manera: quan polsem el disparador de la càmera per tal de fer la fotografia, obrim l'obturador i es permet el pas de la llum (fotons) que arriba al sensor (fotodíode). Aquest, converteix els fotons en electrons que s'acumulen a un petit dipòsit anomenat condensador. Quan es tanca l'obturador de la càmera, cada cel·la del sensor té un determinat nivell d'electrons, en funció de la quantitat de llum que ha rebut. Aquest funcionament que hem explicat s'il·lustra a la figura 15, on hi ha un esquema del funcionament del sensor.

Si una cel·la no té electrons voldrà dir que no ha rebut cap fotó (zona fosca de la imatge). Si una cel·la té el seu dipòsit ple d'electrons es correspondrà amb una zona blanca de la imatge. Els altres tons varien de forma lineal amb el número de electrons que hi ha a cada cel·la.

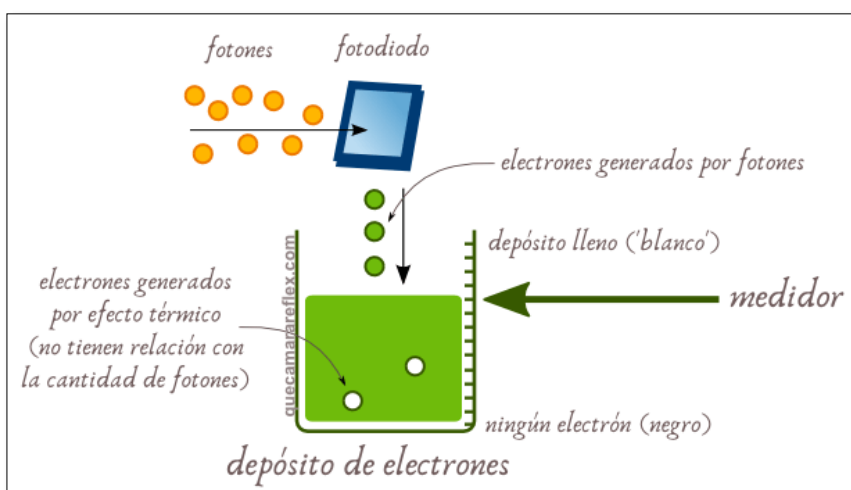


Figura 15. Esquema del funcionament del sensor d'una càmera digital

L'electrònica de la càmera s'encarrega de fer una lectura per totes les cel·les del sensor i a cada un d'aquests nivells se li assigna un valor numèric. En el cas d'un sensor de 8 bits, s'assignarà un valor entre el 0 (negre) i el 255 (blanc). Si el sensor és de 16 bits, els valors del nivell de gris oscil·len entre 0 i 65535.

En el cas de la fotografia en color, sobre cada fotodiode hi ha un filtre d'un color primari. Per tant, en un sensor de 8 bits, conté 8 pel verd, 8 pel blau i 8 pel vermell. Per tant, en la fotografia en color, el valors dels píxels poden oscil·lar entre 0 i 16777215.

Finalment, el processador de la càmera utilitza tota aquesta informació per a generar el fitxer de la imatge que guarda en la tarja de memòria.

2.3.2 CCD versus CMOS

Hi ha molts tipus de sensor en funció de la seva tecnologia, però els dos tipus de sensor més estesos i populars són el CCD i el CMOS.

Per tal d'entendre el funcionament del sensor CCD farem un símil analògic. Considerem que el sensor està format per unes cintes recol·lectores i cada píxel del sensor és una galleda d'aigua (que representa els electrons). El sistema CCD consisteix en una gran galleda que recol·lecta tota l'aigua que contenen les diferents galledes per files. Per tal d'obtenir la informació de tots els píxels, quan les galledes de la primera fila s'han buidat, les cintes avancen per tal de buidar les de la segona fila, i així successivament. Aquest procés es veu reflectit en la figura 16.

Deixant de banda el símil de les galledes, el sistema CCD s'encarrega de recuperar la imatge a través de la lectura de les càrregues (en l'exemple d'abans es correspon amb l'aigua de les galledes) per mitjà d'un desplaçament successiu i de forma seqüencial. La càrrega es transforma en voltatge i entra un senyal analògic que quan surt es digitalitza i es processa pels circuits de la càmera.

A causa d'aquesta lectura seqüencial, hi ha una pèrdua de temps amb la qual no es pot seguir fent fotografies.

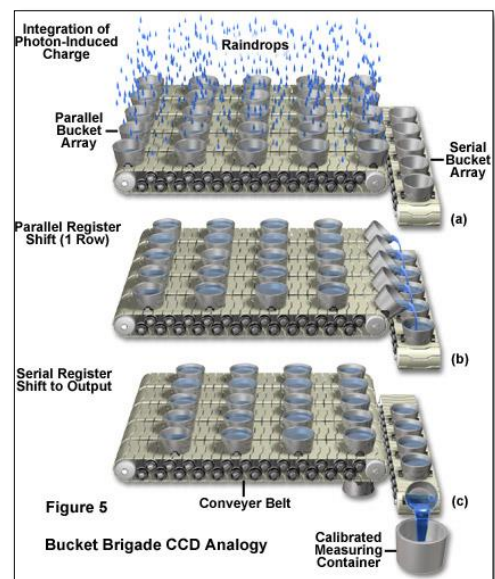


Figura 16. Esquema del funcionament del sistema CCD

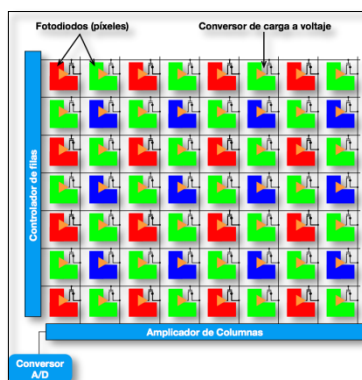


Figura 17. Sensor CMOS

En el cas de CMOS, el funcionament és el mateix excepte a l'hora de fer la lectura de les càrregues, que en aquest cas, cada cel·la és independent i quan rep l'energia la transforma directament en càrregues elèctriques i voltatge.

En la figura 17 podem observar l'esquema d'un sensor CMOS on es pot veure el filtre corresponent a cada píxel.

A la Taula 2 es comparen 5 aspectes a destacar dels dos dispositius anteriors:

Taula 2. Comparació dels sensors CCD i CMOS

CCD	CMOS
Consum més energia.	Consum menys energia.
Pel que fa al soroll de la imatge, té l'avantatge de que la senyal és processada en un xip extern, optimitzant i aprofitant els convertidors més ràpid i millor processats	Pel que fa al soroll, el CMOS realitza aquest procés dins del sensor, perdent espai pel fotodiode que s'encarrega de recollir la llum.
Té una resposta uniforme i un millor comportament ja que posseeix una matriu de píxels que dona com a resultat una millor imatge.	Té una resposta uniforme, acostuma a patir danys ja que el sensor està constituït per píxels independents.
Té una resposta més lenta.	Té una resposta més ràpida
Afecta el blooming.	No existeix el blooming ¹

2.3.3 El balanç de blancs

El balanç de blancs és un control de la càmera que ens permet equilibrar els nivells dels colors primaris vermell, blau i verd (RGB).

Els colors enregistrats per la nostra càmera depenen de la il·luminació i el tipus de llum de l'ambient. Aquesta, pot ser natural o artificial i a més pot tenir una temperatura de color diferent, és a dir, poden tenir colors més càlids (amb tons groguencs) o poden ser amb colors més freds (tons blaus).

Així doncs, els tres components de color RGB normalment no estan distribuïts de manera equilibrada. Per exemple, en un dia ennuolat la llum que predomina serà d'un to blavós, en canvi si fotografiem una habitació il·luminada amb llum d'una bombeta incandescent predominarà el vermell.

Els nostres ulls tenen la capacitat de compensar la diferencia dels colors segons la llum, però la càmera no ho pot fer de la mateixa manera. Per tant, el balanç de blancs ens permetrà informar a la nostra càmera de quina temperatura de color hi ha a l'ambient per tal que pugui establir quin és el blanc i ajustar la resta de tons de la fotografia.

En la fotografia analògica l'equivalent al balanç del blancs són els diferents tipus de pel·lícula segons la il·luminació. Com ja hem explicat anteriorment, per tal de fotografiar elements d'exterior o d'interior amb diferents font d'il·luminació es requereixen pel·lícules amb una sensibilitat diferent o l'ús de filtres. En el cas de la càmera digital, el balanç de blancs controla el tipus de llum que hi ha de manera que la imatge reproduïx la cromaticitat de l'escena el més realista possible. Per tal de demostrar el funcionament del balanç de blancs, hem pres la mateixa fotografia per als diferents modes de la càmera segons la il·luminació. El resultat obtingut es mostra en la figura 18. Seguint d'esquerra a dreta els diferents modes son: Automàtic, Llum de dia (5200K), Ombra (7000K), Ennuolat (6000K), Tungstè (3200K), Llum fluorescent blanca (4000K), Flash i Personalitzat.

¹ El blooming és un fenomen que es produeix quan un píxel arriba a la saturació per la llum que incideix sobre ell i comença a omplir d'electrons els del seu voltant.

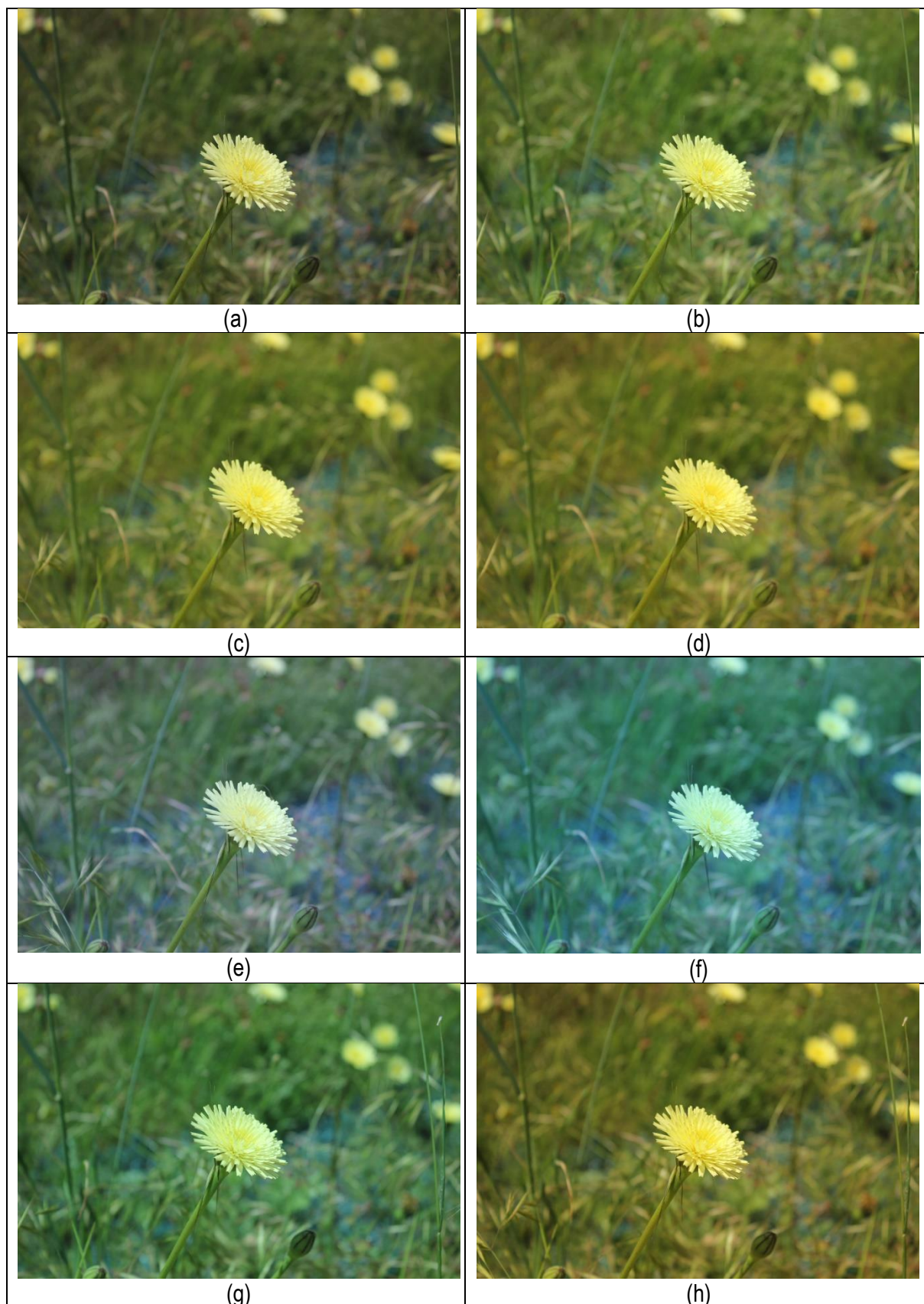


Figura 18. Comparació d'una mateixa fotografia amb diferents temperatures de color

3. El procés de revelatge.

3.1 Revelatge analògic

3.1.1 El procés de revelatge. Característiques

El revelat és el pas més delicat de tot el procés analògic ja que es pot perdre tota la informació del negatiu sense possibilitat de recuperar-la. L'error més gran que es pot cometre és que el negatiu rebi llum. Abans de començar a revelar és important tenir tots els materials: un tanc de revelat per introduir-hi els negatius i els diferents banys, una tisora per tallar la pel·lícula, un termòmetre per comprovar la temperatura dels líquids, aigua destil·lada per preparar les dissolucions, embuts, provetes per realitzar les mesures dels líquids, líquids (revelador, atur i fixador) i un cronòmetre per mesurar els diferents temps del procés. En la figura 19 es mostra els diferents elements utilitzats en el revelat de negatius.



Figura 19. Elements utilitzats per fer el revelat del negatiu. La imatge inclou: líquids, tanc de revelat, tissores, cronòmetre, espiral, termòmetre i provetes

El primer pas és introduir el negatiu al tanc de revelat. La dificultat d'aquest procés resideix en que s'ha de fer totalment a les fosques per tal que el nostre negatiu no rebi cap mena de llum, ja que això velaria la pel·lícula. Per tal d'introduir el negatiu al tanc, s'ha de treure del chasis i enrotllar-lo en un espiral. Aquest procés està il·lustrat a la figura 20 (a).

Quan el negatiu és dins el tanc i està totalment tapat, podem encendre el llum. El primer líquid que farem servir és el revelador. Seguint les indicacions del fabricant, deixarem el revelador el temps necessari en funció de la temperatura del revelador i amb les inversions convenientes. (En el nostre cas el revelador utilitzat és el KodaK HC 110 que a 20°C necessita un temps de 9 minuts amb 4 inversions al començament de cada minut).

Durant aquest procés, es produeixen les reaccions químiques descrites en l'equació 2.

Passat aquest temps necessari, aboquem el revelador al seu recipient i posem el segon líquid, el bany d'atur. Aquest bany d'atur, tal i com indica el seu nom, atura l'acció del revelador. El bany d'atur que fem servir és Tetenal Indicet, amb una durada d'un minut amb una inversió al començament.

Finalment, després de retornar el bany d'atur al seu recipient, s'afegeix el fixador. El fixador utilitzat ha estat Tetenal Superfix Plus. Després del procés de revelat i atur, no tots els cristalls d'halur de plata s'han convertit en plata metàl·lica, i pot ser que s'ennegreixin quan els toqui la llum. Per aquest motiu, s'han de dissoldre amb un àcid, que és un dels components del fixador. La imatge de la figura 20 (b) mostra com s'omple el tanc de revelat amb un dels líquids del procés.

Un cop s'han aplicat tots els líquids, s'ha de fer una neteja del negatiu, per tant, es fa circular constantment aigua dins el tanc durant 5 minuts. Posteriorment, s'afegeix un humectant per tal que no quedin marques de les impureses de l'aigua quan s'assequi. La imatge de la figura 20 (c) mostra com es treu l'excés d'aigua del negatiu per tal de deixar-ho assecar.

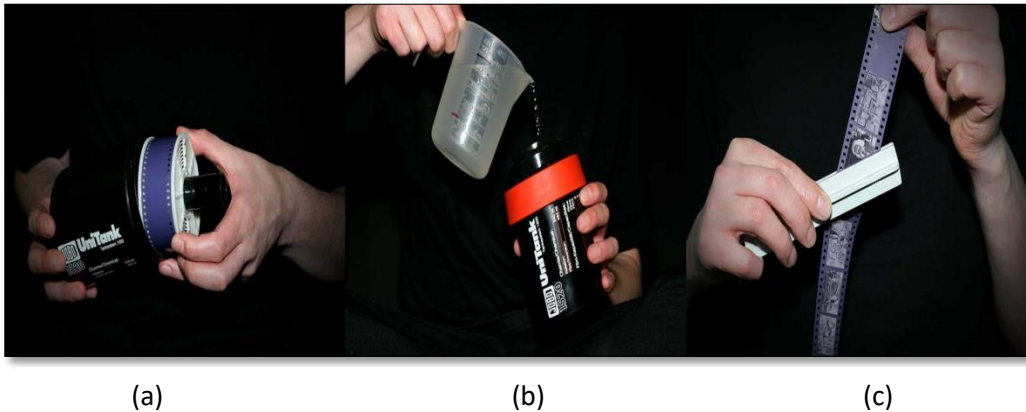


Figura 20. Procés de revelat de negatiu. (a) Enrotllament del negatiu; (b) Introducció del líquid; (c) Asseccament del negatiu

3.2 Revelatge digital

3.2.1 El processament de l'arxiu raw

L'arxiu RAW (de l'anglès cru) és un format de la imatge en el qual les dades són les que provenen directament del sensor CCD, sense que s'hagin processat. RAW és un format d'arxiu que, a diferència del JPEG, no comprimeix les dades de la imatge per guardar-la. Els fitxers RAW contenen la totalitat de les dades de la imatge tal i com ha estat captada pel sensor. Degut a que RAW conté la totalitat de les dades de la imatge, els seus fitxers ocupen una gran quantitat de memòria, i per tant, se sol utilitzar per a ser processada posteriorment amb un programa de tractament d'imatges.

Existeixen diferents programes per revelar el fitxer RAW, en el nostre cas hem fet servir el Adobe Camera RAW.

4. Característiques de la càmera digital emprada

Per aquest treball s'ha utilitzat la càmera digital Canon EOS 550D.

La taula 3 enumerarà les característiques principals de la càmera digital emprada. En la figura 21 es mostra la càmera utilitzada per dur a terme aquest treball.



Figura 21. Càmera Canon EOS 550D

Taula 3. Característiques de la càmera digital emprada

COS DE LA CÀMERA

Marca	Canon
Model	EOS 550D
Cos de la càmera	Compact SLR

SENSOR

Màxima resolució	5184 x 3456
Altres resolucions	3456 x 2304, 2592 x 1728
Radi de la imatge	3:2
Pixels efectius	18 megapixels
Sensor de la fotografia	19 megapixels
Mida del sensor	APS-C (22.3 x 14.9 mm)
Tipus de sensor	CMOS
Procesador	Digic 4

IMATGE

ISO	Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 12800
ISO Màxima	12800
Balanç de Blancs	6
Balanç de Blancs Personalitzat	Si
Estabilització de la imatge	No
Format incompressible	RAW
Nivell de qualitat JPEG	Bo, Normal

ÒPTICA I FOCUS

Autofocus	Sensor de contrast Detector fase Multi-àrea Selecció d'un punt Simple Continu Detecció facial Vista en viu
Zoom digital	No
Focus Manual	Si
Nº de focus	9
Lents zoom 18- 55 mm	Canon EF/EF-S
Factor de Retall	1.6x

PANTALLA DE VISUALITZACIÓ

LCD	Fixe
Mida de la pantalla	3"
Punts de la pantalla	1.040.000
Pantalla tàctil	No
Tipus de pantalla	TFT color liquid-crystal LCD
Vista en directe	Si
Tipus de visor	Optic (pentavidre)
Cobertura del visor	95%
Ampliació del visor	0.87x (0.54x 35mm equiv.)

CARACTERÍSTIQUES DE LA FOTOGRAFIA

Velocitat d'obturació	Entre 30seg i 1/4000s
Nombre de diafragmes	2.8; 4; 5.6; 8; 11; 16; 22; 32
Prioritat d'obertura	Si
Prioritat de velocitat d'obturació	Si
Mode Manual	Si
Mode subjecte/escena	Si
Built-in flash	Si (pop-up)
Alcanç del flash	13m
Falsh extern	Si
Mode del Flash	Auto, on, off, ulls vermells
Impulsió continua	3.7 fps
Disparador automàtic	Si (entre 2 i 10 seg) <ul style="list-style-type: none"> • Multi • Center-weighted • Spot
Modes de mesura	Partial
Compensació de l'exposició	±5 (at 1/3 EV, 1/2 EV steps)
AE Bracketing	±2 (3 frames at 1/3 EV, 1/2 EV steps)
WB Bracketing	Yes (3 frames in either blue/amber or magenta/green axis)

5. Característiques de la càmera analògica emprada

La càmera analògica emprada ha estat la Praktica MTL 5 B, tal i com mostra la figura 22. A la taula 4 enumerarem les característiques principals de la càmera analògica emprada.



Figura 22. Praktica MTL 5 B

CARACTERÍSTIQUES DE LA CÀMERA

Taula 4. Característiques de la càmera analògica

Marca	Praktica
Model	MTL 5B
Lent	PENTACON 1.8/50 auto MULTICOATING
Focal	50 mm
Apartures	1.8; 2.8; 4; 5.6; 8; 11; 16
Rang de focus	0.55m a l'infinit
Velocitats	1; 1/2; 1/4; 1/8; 1/16; 1/30; 1/60; 1/125; 1/250; 1/500; 1/1000
Obturador	Metal focal plane
Mida de la pel·lícula	35 mm

6. Digitalització de la pel·lícula

El procés normal per mostrar una imatge analògica en paper consisteix en el següent: primer s'obtenen els negatius mitjançant una càmera analògica. Després fem tot el procés de revelat descrit anteriorment. Procedim a posar aquest negatiu en una ampliadora per tal d'obtenir aquest negatiu en paper fotogràfic, amb el qual obtenim un negatiu del paper fotogràfic. Després es procedeix a fer el revelat d'aquest paper per tal d'obtenir el positiu desitjat.

En aquest treball, volem obtenir les imatges de forma digital, per tal de poder processar la imatge. Per tant, després d'obtenir el negatiu revelat el digitalitzem de diverses maneres: mitjançant un sistema de columna i un sistema adaptat al mòbil, per tal d'esbrinar quin dels dos mètodes dona una imatge amb millor qualitat.

6.1 Mitjançant càmera fotogràfica

6.1.1 Sistema de columna

Per tal de digitalitzar el negatiu, un dels mètodes que hem fet servir per dur a terme la part pràctica del treball és el sistema de columna. Aquest sistema consisteix en una columna situada sobre una base on hi ha acoblada una càmera fotogràfica perpendicular a la base de la columna. La càmera emprada per la digitalització dels negatius és la Nikon D70S amb un objectiu Nikon 40 mm /f208 G AF-S. En la base de la columna situem el negatiu sobre una pantalla lluminosa blanca. El sistema que hem seguit per digitalitzar la imatge consisteix en fotografiar cada negatiu i passar les fotos a ordinador per tal de poder fer un processament de la imatge.

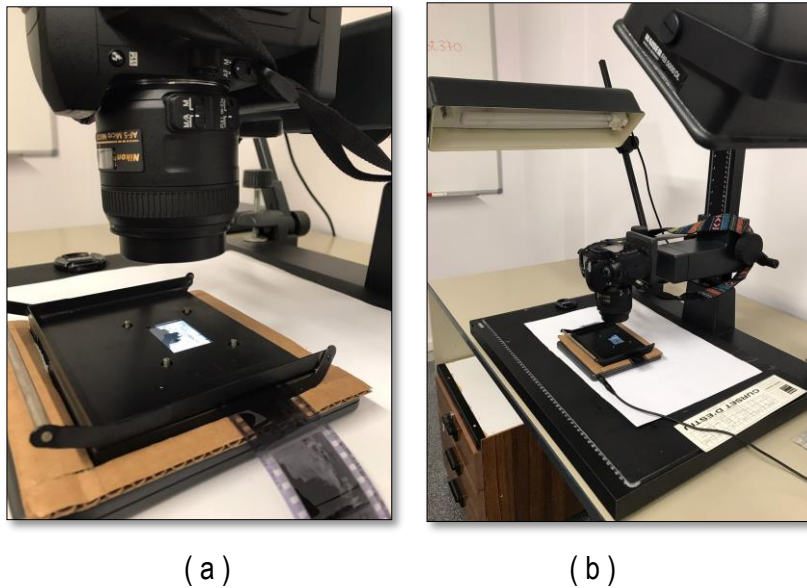


Figura 23. Digitalització del negatiu mitjançant un sistema en columna (a) vista propera (b) vista llunyana

En la figura 23 es mostra el sistema de digitalització de la pel·lícula mitjançant el sistema en columna, on es pot veure la càmera emprada fotografiant un negatiu col·locat sobre una pantalla lluminosa.

6.1.2 Sistema adaptat al mòbil

El segon mètode que hem fet servir per tal de digitalitzar els negatius és un sistema que s'adapta al telèfon mòbil. Aquest sistema s'anomena Smartphone Film Scanner. És un escàner de negatius per Smartphones. Consisteix en una base que conte una pantalla lluminosa on es col·loca el negatiu. A sobre d'aquesta base es situen uns mòduls que aporten alçada a l'aparell i en la part superior hi ha un dispositiu de subjecció per al mòbil. Aquests mòduls permeten ajustar la distància entre el mòbil i la pel·lícula per tal de maximitzar



Figura 24. Digitalització del negatiu mitjançant un sistema de Smartphone Film Scanner

la resolució. (Segons el fabricant, pel mòbil emprat es recomanen 2 mòduls). Els fabricants de l'aparell recomanen una aplicació per a l'obtenció de les imatges, però la qualitat és millor amb la càmera del mòbil que amb la aplicació recomanada. El mòbil emprat per fer les fotografies dels negatius és iPhone 7.

En la figura 24 es veu el sistema adaptat al mòbil per a la digitalització de negatius que hem fet servir.

6.2 Post processament digital de la imatge

Per tal d'obtenir el positiu de les imatges i unes fotografies estèticament més maques i contrastades, fem servir un programa de processat de la imatge. El programa que es fa servir per aquesta part del treball és el Photoshop, on es fan servir les següents funcions:

- Invertir: Per tal de positivament la imatge.
- Nivells: Per fer un reajustament dels nivells de gris.
- Corbes: Per modificar l'histograma.

7. Qualitat de la imatge obtinguda

Per tal de realitzar aquesta part del treball, fem dos tipus d'anàlisi: Un anàlisi subjectiu, mitjançant unes fotografies on es pugui valorar la resolució de la imatge a simple vista i un anàlisi objectiu, amb el qual fem fotografies a dos tests i els processem per tal d'obtenir dades objectives de la resolució de la imatge. Dins d'aquesta part objectiva, s'analitza la qualitat de la imatge mitjançant el test de la vora inclinada i la resolució de la imatge amb el test USAF.

7.1 Mesura de la qualitat de forma subjectiva

No existeix una definició subjectiva de la qualitat d'una imatge, més aviat és una qüestió que depèn del judici subjectiu que en faci l'observador.

Diferents paràmetres que es tenen en compte a l'hora de valorar aquesta qualitat per simple inspecció visual són: l'enfocament, la resolució o capacitat de reproduir el petit detall, el soroll de la imatge, la reproducció del color i la gama tonal o riquesa en nivells de grisos. Aquest paràmetres, a excepció de la reproducció del color (ja que les imatges són en blanc i negre), són els que tindrem en compte a l'hora de valorar la qualitat d'una imatge des del punt de vista subjectiu.

Per fer aquesta part del treball s'han analitzat les imatges obtingudes tant en la càmera analògica com en la digital. A la part pràctica, s'ha realitzat la mateixa fotografia amb ambdues càmeres i a diferents escenes on es pugues valorar la resolució de la càmera. En aquest cas, s'han fet fotografies a cartells on es poguessin apreciar lletres de diverses mides per tal de veure quina de les dues càmeres permet resoldre lletres més petites. Per tal de fer això s'han analitzat les diferents imatges obtingudes, ampliant la imatge per veure realment quin és el màxim nivell de detall que la càmera és capaç de captar.

En la figura 25 es poden observar dues fotografies d'un cartell publicitari: (a) feta amb càmera analògica i (b) feta amb càmera digital.

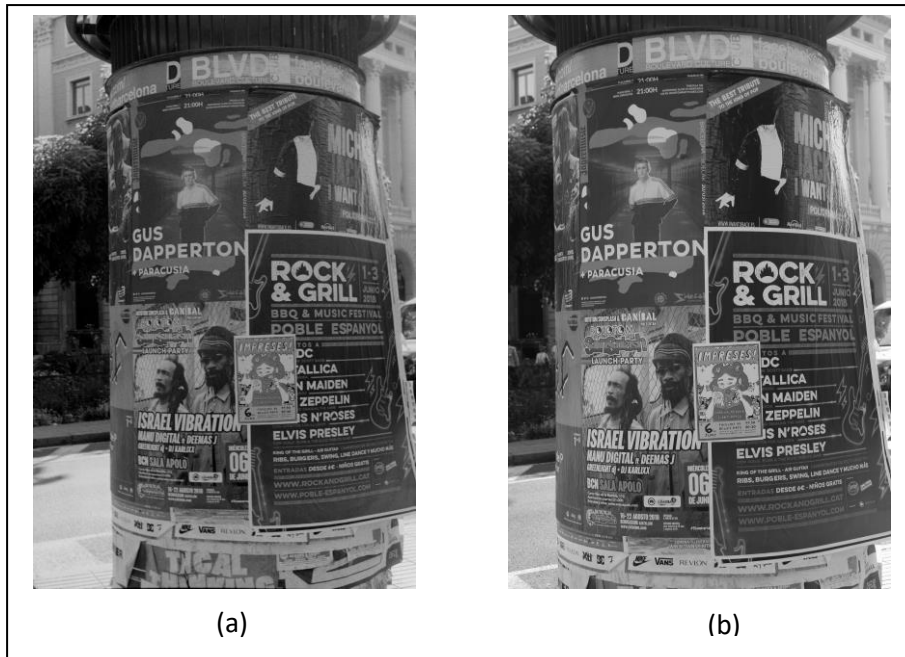


Figura 25. Imatge per a la resolució subjectiva amb (a) càmera analògica i (b) amb càmera digital

A continuació observem la figura 26, que conté les imatges de la figura 25 amb diferents augments per tal de valorar la resolució de la càmera. En primer lloc, observem la imatge amb la càmera analògica on es fa una ampliació de la zona del requadre. Tal i com podem observar, en el cartell, el mínim detall que es pot percebre és la frase: "FACULTAT DE BELLES ARTS", però no som capaços de llegir la frase que segueix ni tan sols augmentat més la imatge.



Figura 26. Ampliacions de la fotografia de resolució amb la càmera analògica

Després d'aquest anàlisi, procedim a seguir els mateixos passos en el cas de la imatge presa amb la càmera digital. A continuació, a la figura 27, es mostra la mateixa ampliació de la imatge, on clarament s'observa una millor qualitat de la imatge (ja que la imatge és molt més nítida que l'anterior) a més d'una millor resolució, ja que som capaços de llegir la lletra més petita del cartell, mentre que a la imatge capturada amb la càmera analògica no es podia llegir.



Figura 27. Ampliació de les imatges de resolució obtingudes amb la càmera digital

Tal i com es pot veure a les imatges ampliadades, la càmera analògica no es capaç de resoldre les lletres petites del cartell mentre que a la digital es pot llegir clarament.

Per tal de confirmar que la càmera que aporta més qualitat a la imatge és la digital farem el mateix procediment amb dues imatges més. Aquestes imatges es poden observar en l'apartat dels resultats.

7.2 Mesura de la qualitat de forma objectiva

Els paràmetres que s'utilitzen per la mesura de la qualitat de la imatge de forma objectiva són la resolució, el contrast i la reproducció del color. Tenint en compte que les imatges que considerem són en blanc i negre la reproducció del color no s'escau.

La mesura de la resolució s'acostuma a mesurar mitjançant tests. Un dels tests més utilitzats és el test USAF.

7.2.1 Test USAF

El test USAF està format per un conjunt de 3 barres blanques i negres, igualment espaiades, del mateix gruix i altament contrastades. La distribució de les freqüències espacials es troba en grups i elements on cada grup conté 6 elements.

La figura 28 mostra l'aspecte del test USAF.

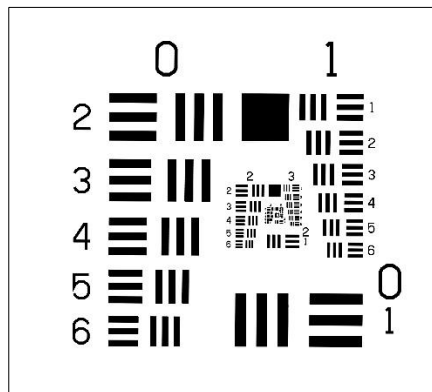


Figura 28. Test USAF

El límit de resolució d'un sistema es troba examinant una imatge de la taula de proves de resolució. Consisteix en localitzar l'element de major freqüència on les línies horitzontals o verticals no són indistingibles.

Per dur a terme aquesta part del treball hem procedit a fer el mateix que en l'apartat anterior, s'han fet fotografies per a les diferents combinacions de diafragma i temps d'exposició tant amb la càmera digital com amb l'analògica, per tal d'esbrinar quina de les dues aporta més resolució a les imatges.

Per tal d'examinar la resolució de les imatges obtingudes amb la càmera analògica, s'ha fet un muntatge d'un microscopi de 40 augments. Sobre un banc òptic hem col·locat un microscopi que enfocava sobre els negatius de les imatges de la càmera analògica. A la figura 29 es mostra el muntatge del microscopi i com s'han pres les mesures.

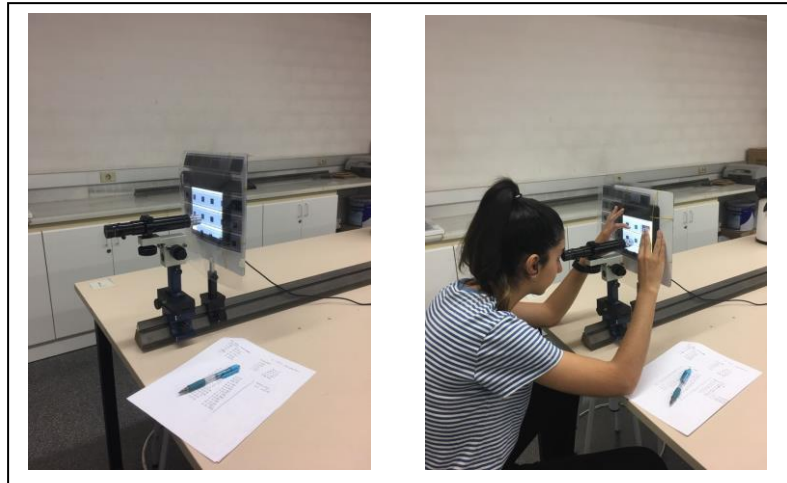


Figura 29. Muntatge per a l'examinació de la resolució de la càmera analògica

7.2.2 Test de la MTF

Una manera més completa de mesurar la qualitat es mitjançant la nitidesa. La nitidesa relaciona la resolució amb el contrast. És conegut que en augmentar la resolució (freqüència) del test el contrast disminueix (Figura 30).

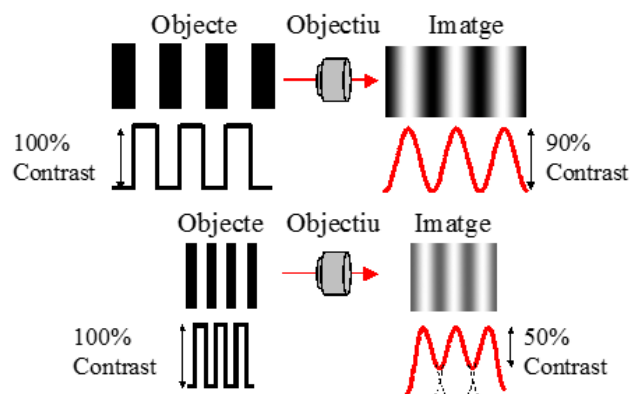


Figura 30. Variació del contrast amb la resolució

Es defineix el contrast com:

$$c = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (3)$$

On I_{\max} i I_{\min} representen els nivells d'intensitat màxim i mínim de l'escena. En el nostre cas només considerarem imatges digitals i els valors I_{\max} i I_{\min} correspondran als nivells de gris.

La nitidesa es mesura mitjançant la MTF (Modulation Transfer Function) de la imatge. Aquest nou paràmetre ens relaciona el contrast de la imatge en funció de la freqüència espacial del test.

La figura 31 mostra la MTF d'una càmera. La MTF presenta un valor màxim, normalitzat a 1, per la freqüència 0 pl/píxel i va disminuint fins a anul·lar-se a la freqüència límit o de tall. A partir d'aquest valor la càmera és incapaç de resoldre res.

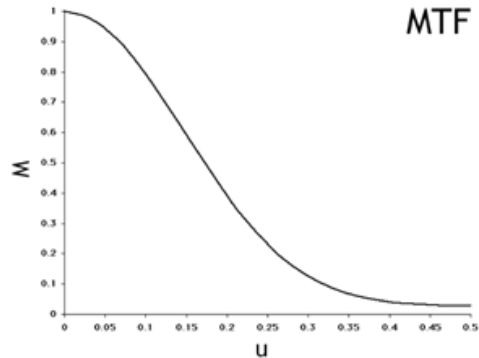


Figura 31. MTF d'una càmera fotogràfica.

En aquest treball hem calculat la MTF de cada càmera a partir del test de la vora inclinada. La figura 32 (a) mostra aquest test i la figura 32 (b) una ampliació de la vora. El salt entre la zona negra i blanca es realitza en una zona on hi ha una transició entre el negre i el blanc. Si la imatge de la vora fos perfecta l'amplada d'aquesta zona seria nul·la. Com que la càmera no és perfecta aquesta amplada existeix. Quan més estreta sigui aquesta amplada més nítida serà la imatge obtinguda. Una manera de mesurar aquesta amplada és mitjançant la derivada de la funció vora (edge). La figura 33 mostra el perfil de la vora a l'espai objecte, es tracta d'una funció que fa un salt vertical; el nou perfil de la vora després de ser capturat per la càmera, conegut com a Edge Spread Function (ESF); i la seva derivada, coneguda també com a Line Spread Function (LSF).

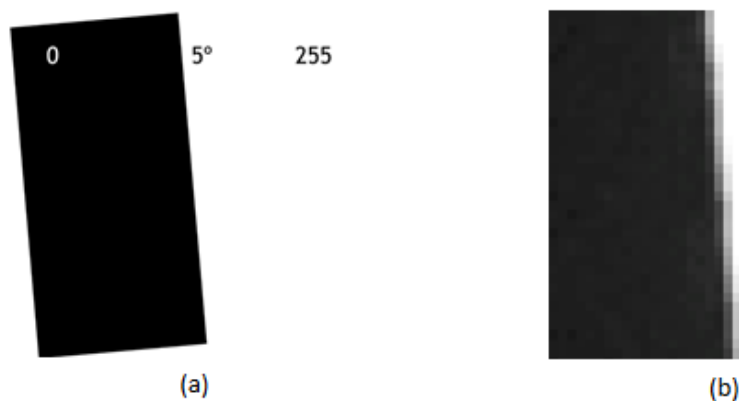


Figura 32. (a) Test de la vora inclinada (Eslanted Edge Test). (b) Detall de la vora

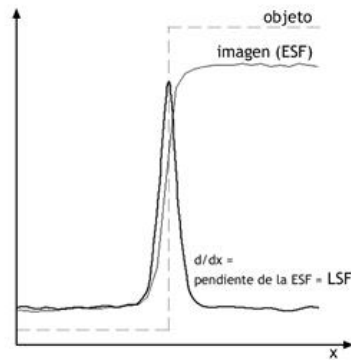


Figura 33. Perfil d'intensitats de la vora. (a) Objecte, (b) Imatge i (c) Derivada del perfil de la imatge

Finalment la MTF s'obté a partir del mòdul de la Transformada de Fourier $|TF|$ de la funció LSF. La figura 34 mostra el procés d'obtenció de la MTF.

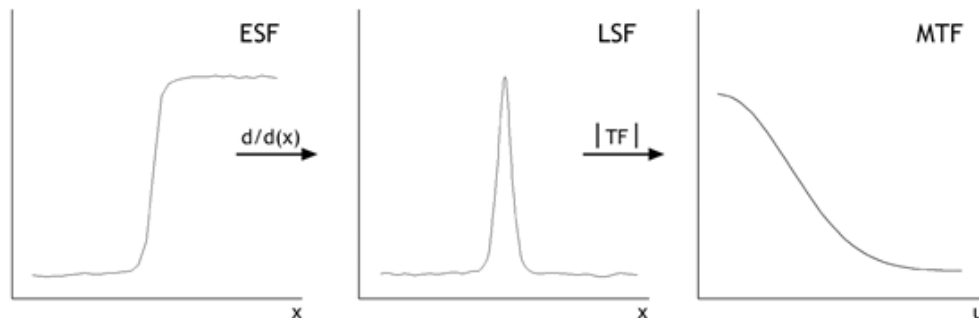


Figura 34. Obtenció de la MTF mitjançant el test de la vora inclinada. (a) Perfil de la vora (ESF). (b) LSF. (c) MTF

8. Resultats

A continuació presentaré els resultats obtinguts.

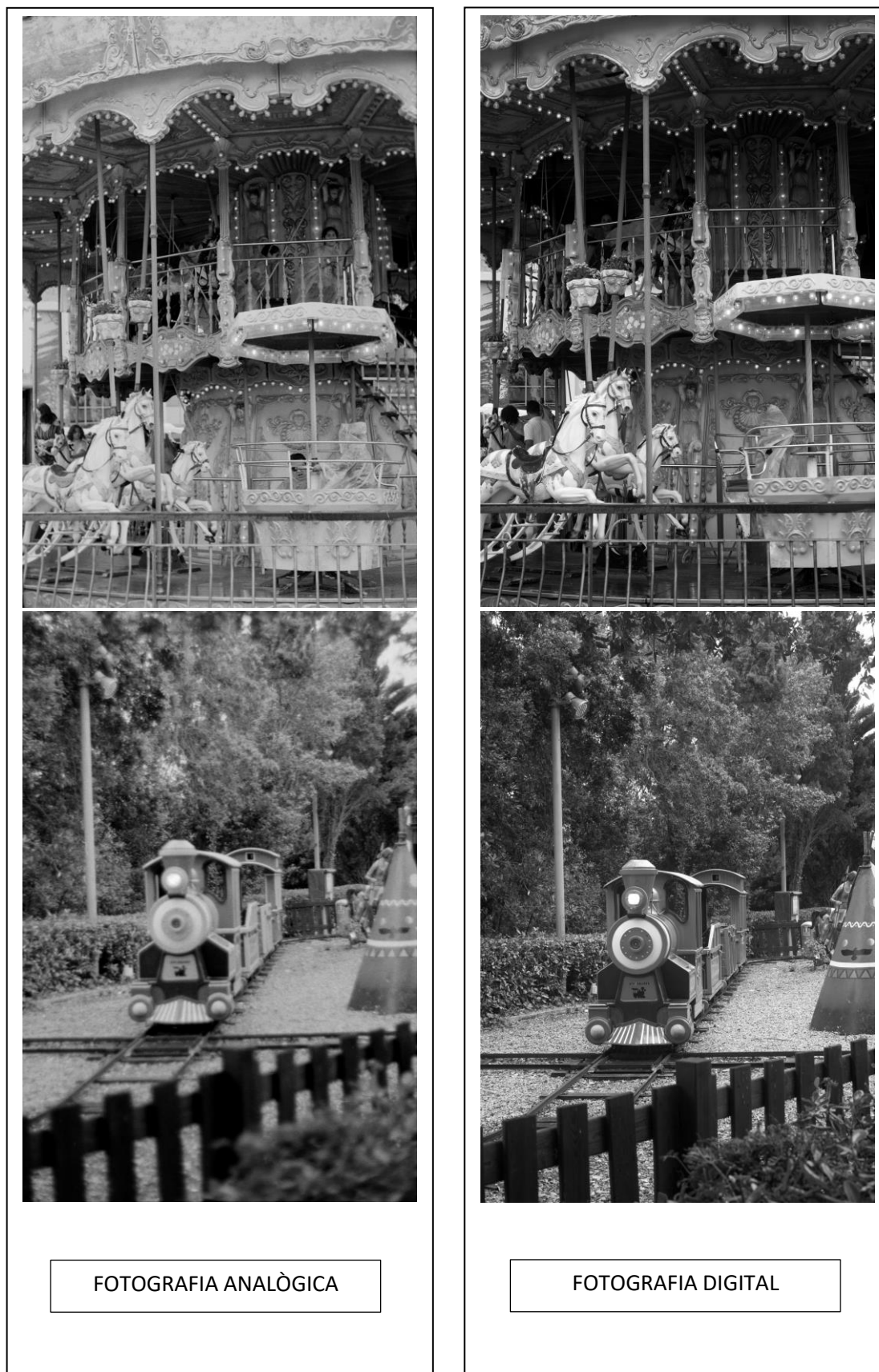
8.1 Fotografies obtingudes, procés de revelatge, digitalització i post processament.

S'han tirat 7 rodets de 36 fotografies cada un. Tots s'han revelat al laboratori segons les especificacions que es detallen a la memòria. Posteriorment s'han digitalitzat en una columna i s'ha realitzat un post processament amb Photoshop. Les figures 35 i 36 mostren una selecció de les fotografies obtingudes.

Els primers rodets es van fer amb una càmera analògica diferent. Es va procedir a fer un canvi de la càmera degut al mal funcionament d'aquesta, ja que algunes parts dels rodets estaven velats a causa de que la càmera no tancava del tot bé.



Figura 35. Comparació de fotos preses amb càmera analògica i digital



FOTOGRAFIA ANALÒGICA

FOTOGRAFIA DIGITAL

Figura 36. Comparació de fotografies preses amb càmera digital i analògica

A continuació, es mostren les imatges per comprovar quina de les dues càmeres aporta millor qualitat a la imatge.

Les imatges de la figura 37 mostren la mateixa fotografia d'unes revistes d'un quiosc fetes amb (a) càmera analògica i (b) càmera digital. A continuació, seguirem el mateix procediment fet anteriorment per a l'anàlisi subjectiu de les imatges.

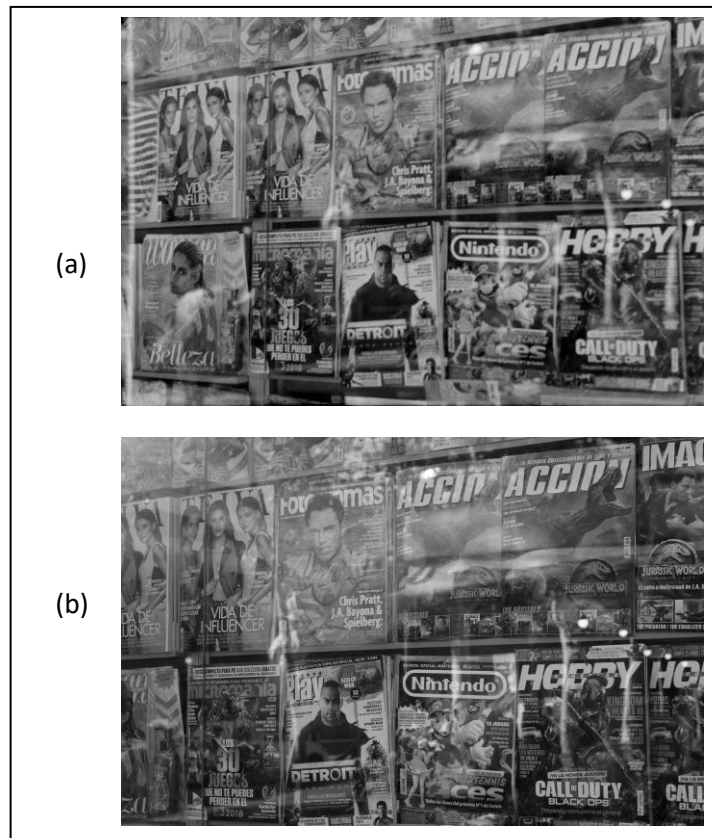


Figura 37. Imatges de resolució subjectiva amb les diferents càmeres (a) analògica i (b) digital

Procedim a seguir els mateixos passos fets anteriorment, una ampliació de les imatges de la figura 37.



Figura 38. Fotografies de resolució subjectiva mitjançant la càmera analògica.

Novament, hem procedit a ampliar la zona enquadrada de la figura 38 amb la única possibilitat de llegir les lletres més grans amb impossibilitat de llegir les següents línies. També s'observa una mica de soroll en les imatges degut al gra de la pel·lícula.

A continuació, en la figura 39, es mostra la ampliació de la mateixa imatge captada amb una càmera digital.



Figura 39. Fotografies de resolució subjectiva amb la càmera digital

Després de veure la ampliació de la figura 39, on es pot llegir clarament la lletra més petita d'aquesta, podem confirmar que de les càmeres emprades, la que aporta una millor qualitat és la càmera digital

De nou, per reafirmar la afirmació ja comentada en les altres dues ocasions, fem un tercer anàlisi de la imatge. Aquest cop també es tracta d'una fotografia a revistes d'un quiosc. La imatge (a) de la figura 40 mostra la fotografia presa amb la càmera analògica i la (b) la fotografia de la càmera digital.



Figura 40. Imatges de resolució subjectiva preses amb (a) càmera analògica (b) càmera digital



Figura 41. Imatges ampliades de la fotografia presa amb la càmera analògica

A la figura 41 es mostra una ampliació de la imatge analògica per tal de veure la qualitat i la resolució d'aquesta càmera de forma subjectiva. En aquest cas, fem dues ampliacions de la imatge, on novament, en ambdós casos, les lletres mes petites no es poden ni tan sols intuir. En canvi, en la figura 42, on es mostren les mateixes ampliacions però en el cas de la imatge digital, aquestes lletres si que es poden llegir. En la imatge analògica es torna a observa el soroll degut al gra de la pel·lícula.



Figura 42. Imatge digital ampliada

Finalment, després d'aquests tres anàlisis de fotos i obtenir la mateixa resposta en tots tres casos, es pot afirmar que la càmera que aporta major qualitat a la imatge és la càmera digital emprada per fer aquest treball, és a dir, la Canon EOS 550D.

8.2 Mètode de digitalització

S'han emprat dos mètodes de digitalització. El de la columna i el del dispositiu adaptat al telèfon mòbil tal i com ja s'ha explicat prèviament en la memòria. La figura 43 mostra un mateix negatiu digitalitzat de les dues maneres. Una simple inspecció visual demostra que el mètode de columna és molt millor. S'ha descartat el mètode de la caixa, ja que tot i ser més directe les imatges que donen presenten molt mala qualitat i no es poden aprofitar.



DIGITALITZACIÓ MITJANÇANT
SISTEMA DE COLUMNA

DIGITALITZACIÓ MITJANÇANT
SISTEMA ADAPTAT AL MÒBIL

Figura 43. Comparació entre la fotografia analògica digitalitzada amb el sistema de columna i el sistema adaptat al mòbil

8.3 Qualitat de la imatge

8.3.1 Mesura de la resolució

S'ha mesurat la resolució d'ambdues càmeres, la Canon EOS 550D i la Praktica MTL 5B mitjançant el test USAF de manera que les focals equivalents d'ambdues càmeres siguin les mateixes ($f = 50$ mm). La figura 44 mostra la resolució de la càmera Canon EOS 550D, la figura 45 la resolució de la càmera Praktica MTL 5B i la figura 46 mostra una comparació entre ambdues.

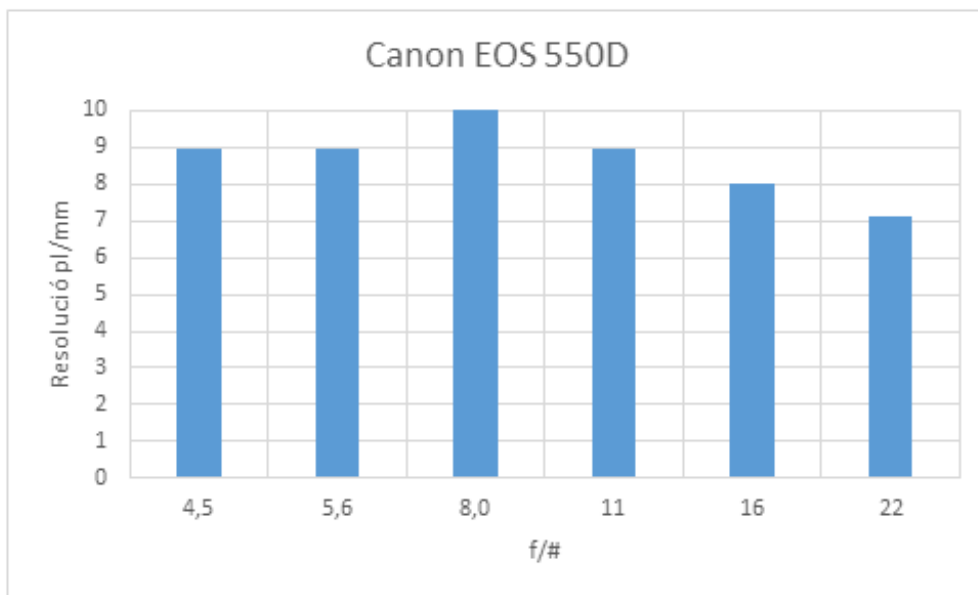


Figura 44. Resolució de la càmera Canon EOS 550D per a diferents valors de f/#

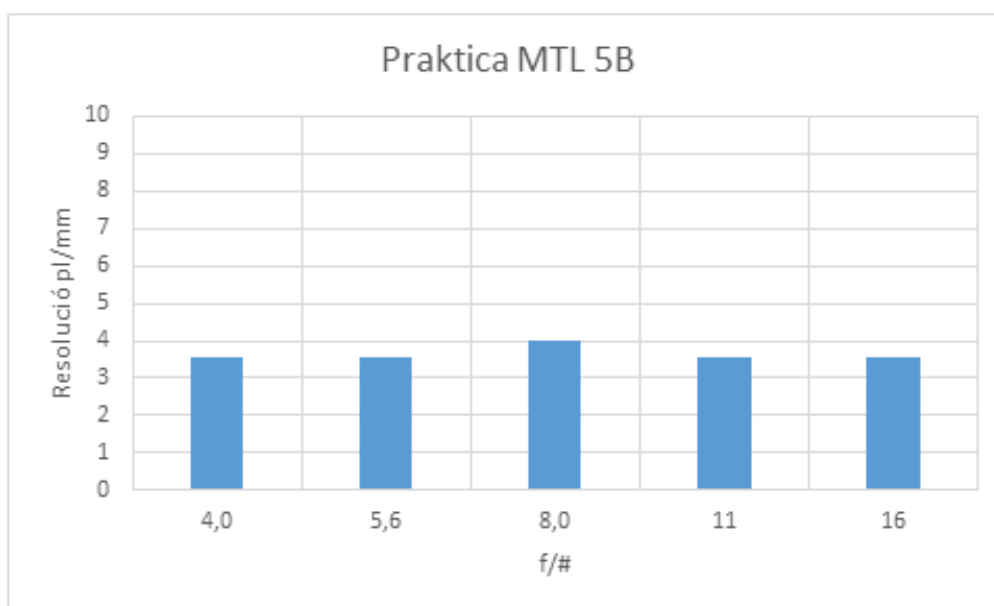


Figura 45. Resolució de la càmera Praktica MTL 5B per a diferents valors de f/#

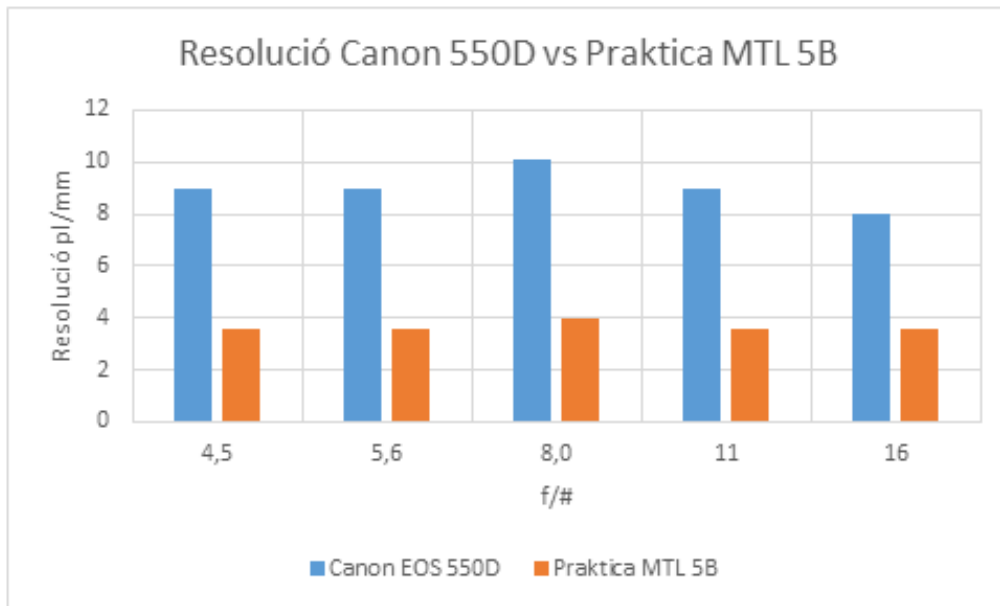


Figura 46. Comparació de les resolucions obtingudes amb les càmeres Canon EOS 550D i la càmera Praktica MTL 5B per a diferents valors de f/#.

A la vista de les figures concloem que la resolució és millor en la càmera Canon ESO 550D

8.3.2 Mesura de la MTF

S'ha aplicat el test de la vora inclinada per mesurar la MTF en el cas de la càmera Canon EOS550D i la càmera Praktica MTL 5B. Pel cas de la càmera Canon EOS 550D, en ser digital, la mesura de la MTF s'obté de forma directa a partir de la imatge d'una vora. En el cas de la càmera Praktica MTL 5B s'obté la imatge d'una vora en un negatiu. Per aplicar el test de la vora amb el programa ImageJ necessitem digitalitzar aquesta imatge. Això s'ha fet amb la mateixa càmera que s'ha utilitzat per digitalitzar tots el negatius, la càmera Nikon D70S amb un objectiu macro Nikon 40 mm/F2.8 G AF-S. La figura 47 mostra les MTF obtingudes per a diferents valors de f/# pel cas de la càmera Canon EOS 550D i la figura 48 les MTF obtingudes pel cas de la càmera Praktica MTL 5B.

La càmera Canon EOS 550D dona una MTF més baixa per f/16 i f/11 degut a la difracció i presenta el seu millor valor per f/5,6. Els valors de la MTF per f/8,0 i f/4,5 tenen un valor intermig i es deu a que estan més afectats per les aberracions que f/5,6.

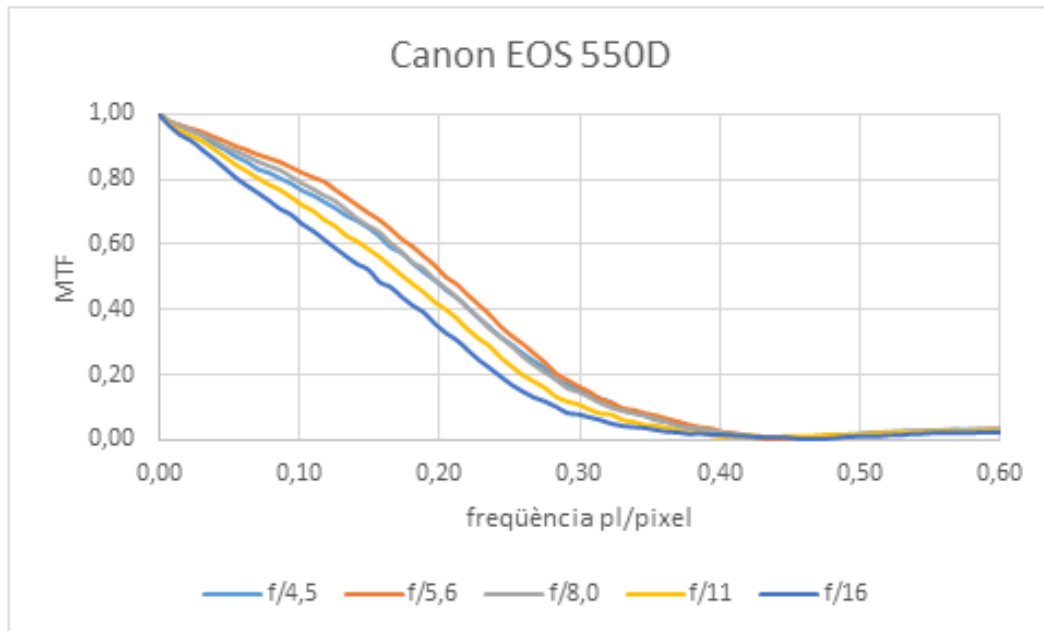


Figura 47. MTF de la càmera Canon EOS 550D per a diferents nombres de diafragma.

La càmera Praktica MTL 5B mostra una MTF semblant pels diferents nombres de diafragma. Els gràfics presenten, també, unes petites oscil·lacions, degudes al gra de la pel·lícula. Si comparem els gràfics de les figures 47 i 48 veiem que la càmera Canon EOS 550D presenta MTF més altes i que la imatge que dona és de més qualitat (figura 49).

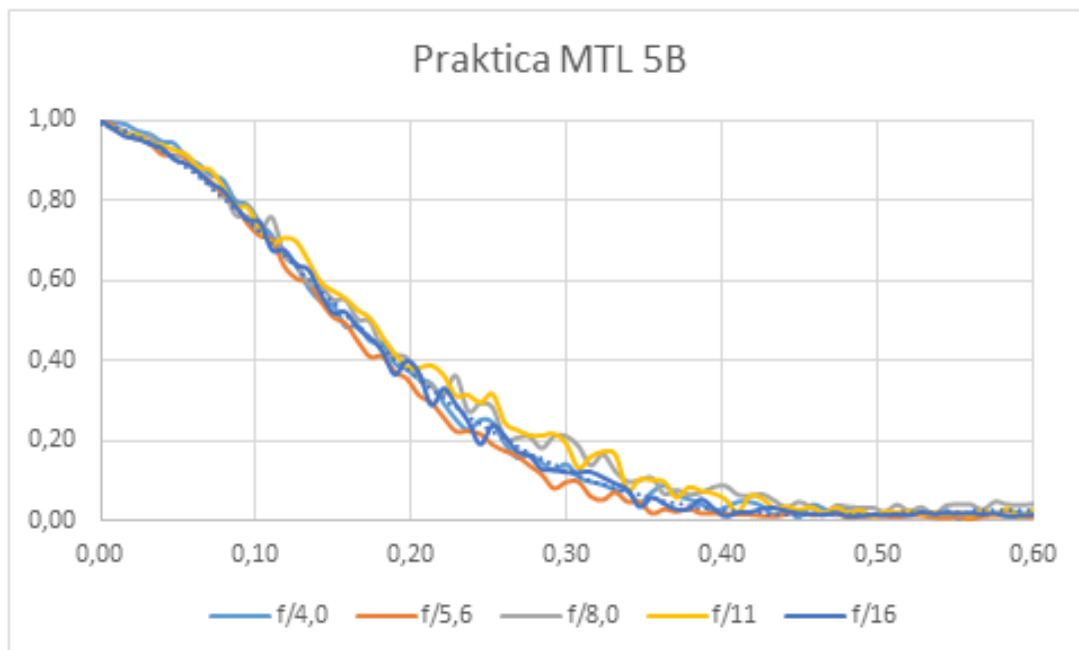


Figura 48. MTF per la càmera Praktica MTL 5B per a diferents nombres de diafragma.

Finalment la figura 49 mostra dos gràfics on es compara la MTF de la càmera Canon amb la MTF de la càmera Praktica per $f/5,6$.

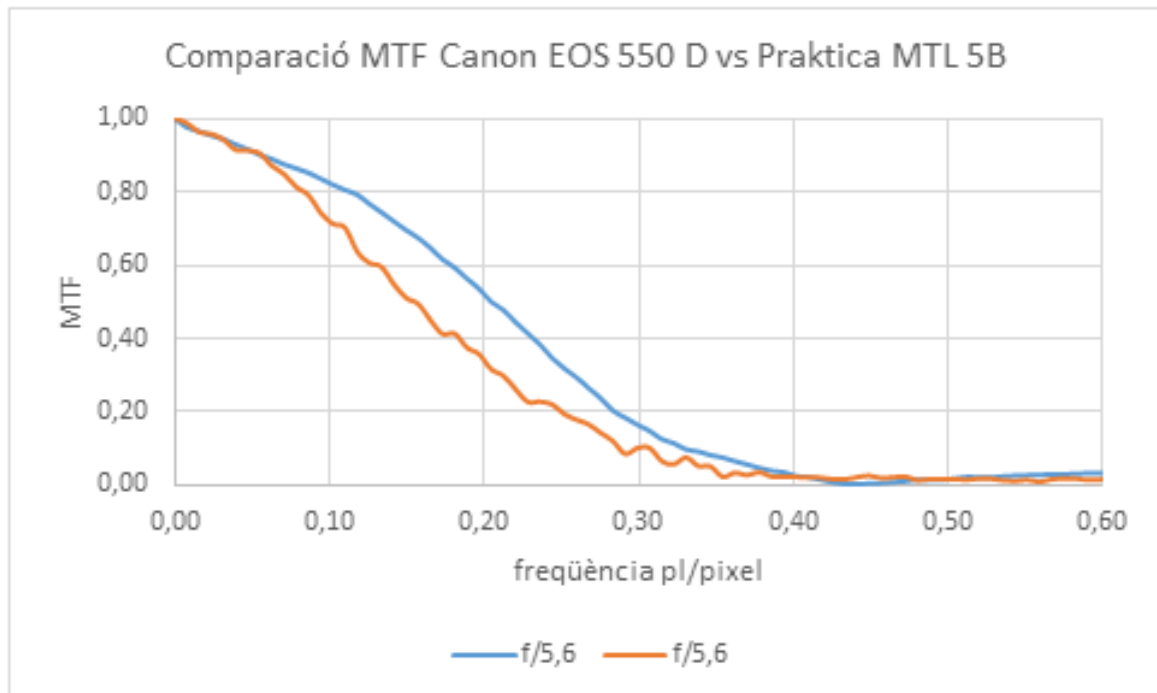


Figura 49. Comparació de MTFs. Per a $f/5,6$

Podem concloure que en la relació a la nitidesa de la imatge mesurada a través de la MTF la càmera Praktica amb el negatiu Ildford FP 125 Plus presenta una nitidesa menor que la càmera Canon EOS 550D.

8. Conclusions

Per finalitzar, presentaré les conclusions del treball.

1. Respecte a les diferències entre la càmera analògica i la digital tant en la seva constitució, com el seu funcionament i en l'obtenció de les imatges.

Hem comprovat la senzillesa d'ús de la càmera analògica en front de la digital. Els dispositius de control de la primera càmera són molt menys que en la segona. Si bé hem utilitzat gairebé tots els elements de control en la càmera analògica (enfocament, diafragma i exposició) aquests són molt pocs en relació a la digital. En aquesta càmera destacarem alguns elements que no es troben en la càmera analògica i que hem utilitzat en la nostra captació: Els modes de captura (Programat, Prioritat temps, Prioritat diafragma, Manual), l'autofocus, la possibilitat de visualitzar a través de la pantalla tant la imatge capturada com el seu histograma. N'hi ha molts d'altres que no enumerem perquè no s'han utilitzat en aquest treball.

2. Respecte a comprendre el funcionament d'ambdós càmeres i posar-ho en pràctica mitjançant la captació d'imatges

S'han fet fotos amb les dues càmeres i s'han comparat entre elles. S'ha procurat que les dues càmeres agafessin aproximadament el mateix camp de manera que la focal de la càmera digital

és de 35 mm o sigui, la focal equivalent a 50mm. El nombre de fotos digitals no s'ha comptat però el nombre de fotos analògiques ha estat de 252. Podem afirmar que el procés de captació és més senzill amb la càmera digital degut al conjunt de funcions de suport que porta implementades.

3. Respecte obtenir la imatge analògica a través del procés de revelat

S'han revelat les fotos anteriors, que corresponen a 7 rodets. El procés de revelat és un procés laboriós que cal fer si es vol obtenir en un suport estable la imatge fotografiada. Aquest procés esdevé finalment un procés mecànic, però arribar fins al final ha requerit un procés d'aprenentatge. Veure la imatge en forma de negatiu en el rodet després del seu revelatge és una sensació excitant. Tot i això aquest procés és molt més feixuc que el post processat digital que s'aplica a les imatges digitals.

4. Respecte Convertir la imatge analògica en digital fent servir diversos mètodes.

La digitalització del material analògic (fotogrames) mitjançant dos mètodes, el de columna i el dispositiu adaptat al mòbil, ens permeten visualitzar en pantalla i compartir mitjançant fitxers digitals les fotos emprades. Aquest mètode substitueix la cadena final de la fotografia analògica que és la còpia de paper i és molt més directe i versàtil que la utilització de l'ampliadora. Si finalment és vol la còpia en paper, els moderns dispositius d'impressió sempre ens podran donar una còpia en paper a partir de l'arxiu digital.

5. Respecte comparar els diferents mètodes de digitalització de negatius a fi d'establir quin és el millor d'ells.

S'han comparat els dos mètodes de digitalització i es conclou que el mètode de la columna és molt millor.

6. Respecte saber quina de les dues càmeres emprades permet obtenir imatges de més qualitat.

En quan a la qualitat de les imatges una simple inspecció visual en ha demostrat que les imatges obtingudes amb la càmera digital són millors que les imatges obtingudes amb la càmera analògica.

7. Respecte mesurar la qualitat i la nitidesa de les imatges obtingudes

S'ha mesurat la qualitat de manera objectiva mitjançant el test USAF i el test de la vora inclinada. Aquest últim mitjançant un plug in implementat en el software ImageJ. De l'aplicació d'ambdós tests és conclou que la càmera fotogràfica digital presenta millors resultats en quan a resolució i nitidesa.

8. Respecte processar digitalment els arxius RAW obtinguts amb la càmera digital.

La conversió del negatiu en digital s'ha fet capturant la imatge en format RAW. Aquest format permet un processament més acurat de la imatge digital que el fitxer JPG. S'han processat en primer lloc les imatges en RAW mitjançant el programa Adobe Camera RAW, el que col·loquialment es diu com a revelatge digital del RAW.

9. Respecte aplicar tècniques de processament de la imatge digital que permetin obtenir la millor imatge final.

Finalment i com a últim pas s'ha processat la imatge amb Photoshop per obtenir una imatge d'acord amb els nostres gustos i adequada per a la seva presentació.

9. Bibliografia

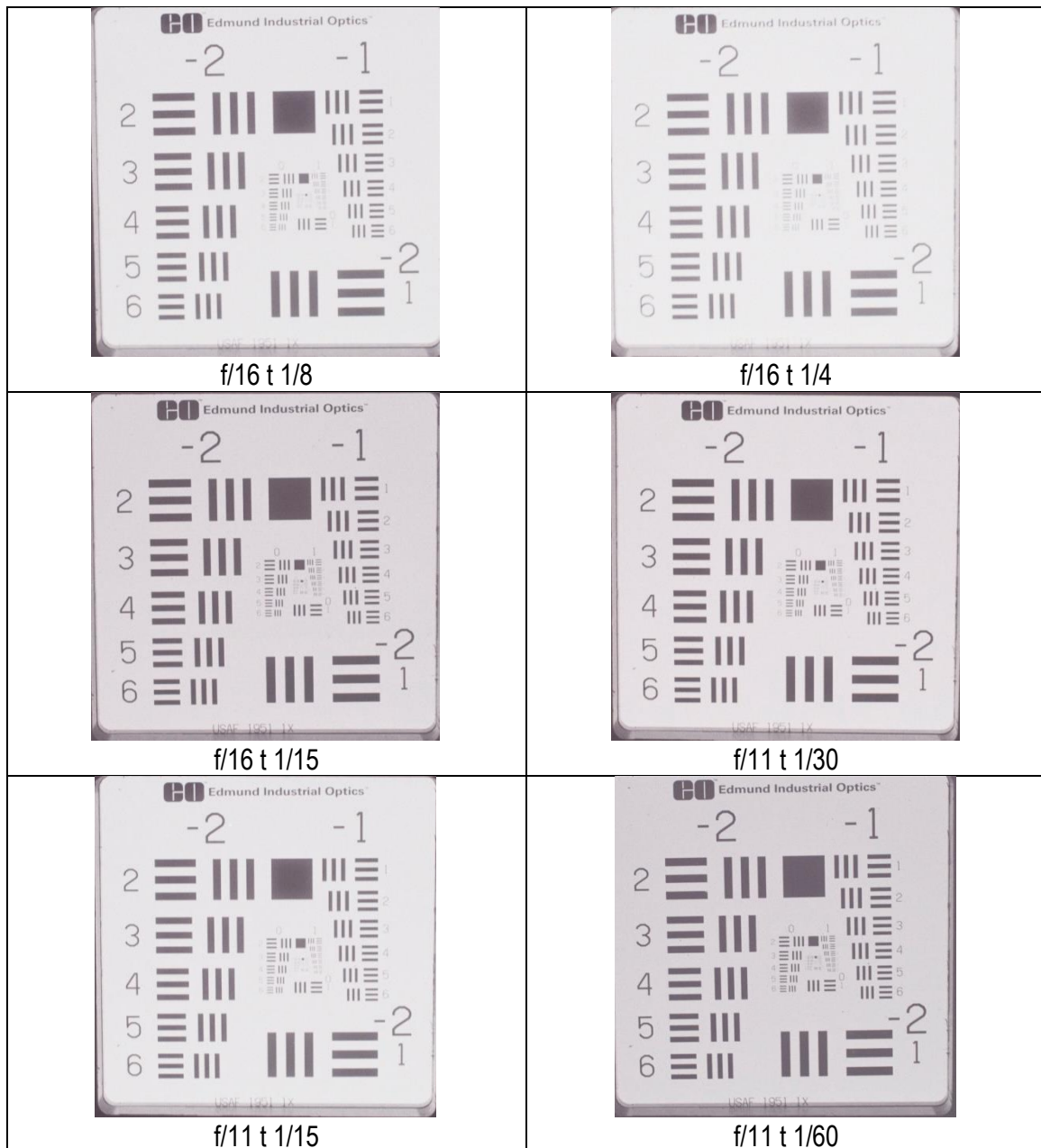
- Ainara Garcia*. (21 / Octubre / 2013). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://naturapixel.com/2013/10/21/para-que-sirven-los-megapixeles/>
- Applied Image*. (11 / Juny / 2018). Recollit de <https://www.appliedimage.com/using-usaf-1951-resolution-test-target>
- Carles Mitja, J. E. (11 / Juny / 2018). Recollit de Carles Mitja, Jaume Escofet, Aura Tacho and Raquel Revuelta. <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/se-mtf/index.html>
- Castro, M. (11 / Desembre / 2008). Recollit de <https://marahicastro.blogia.com/2008/121105-tipos-de-pelicula-fotografica.php>
- Daniela, C. (24 / Abril / 2009). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://cindydaniela.wordpress.com/2009/04/24/pelicula-fotografica-y-tipos-de-peliculas/>
- Diganmecom*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://diganmecom.com/megapixeles-de-la-camara/>
- Eclatam*. (4 / Julio / 2013). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://www.edlatam.com/nyip/diferencias-entre-analogico-y-digital-en-la-fotografia-profesional/>
- FotoNostra*. (sense data). Recollit de <http://www.fotonostra.com/glosario/pelicula.htm>
- FotoNostra*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://www.fotonostra.com/fotografia/elementoscamera.htm>
- FotoNostra*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://www.fotonostra.com/glosario/raw.htm>
- FotoNostra*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://www.fotonostra.com/fotografia/revelado.htm>
- Isabel López*. (14 / Juny / 2009). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://antona.wordpress.com/2009/06/14/el-grano/>

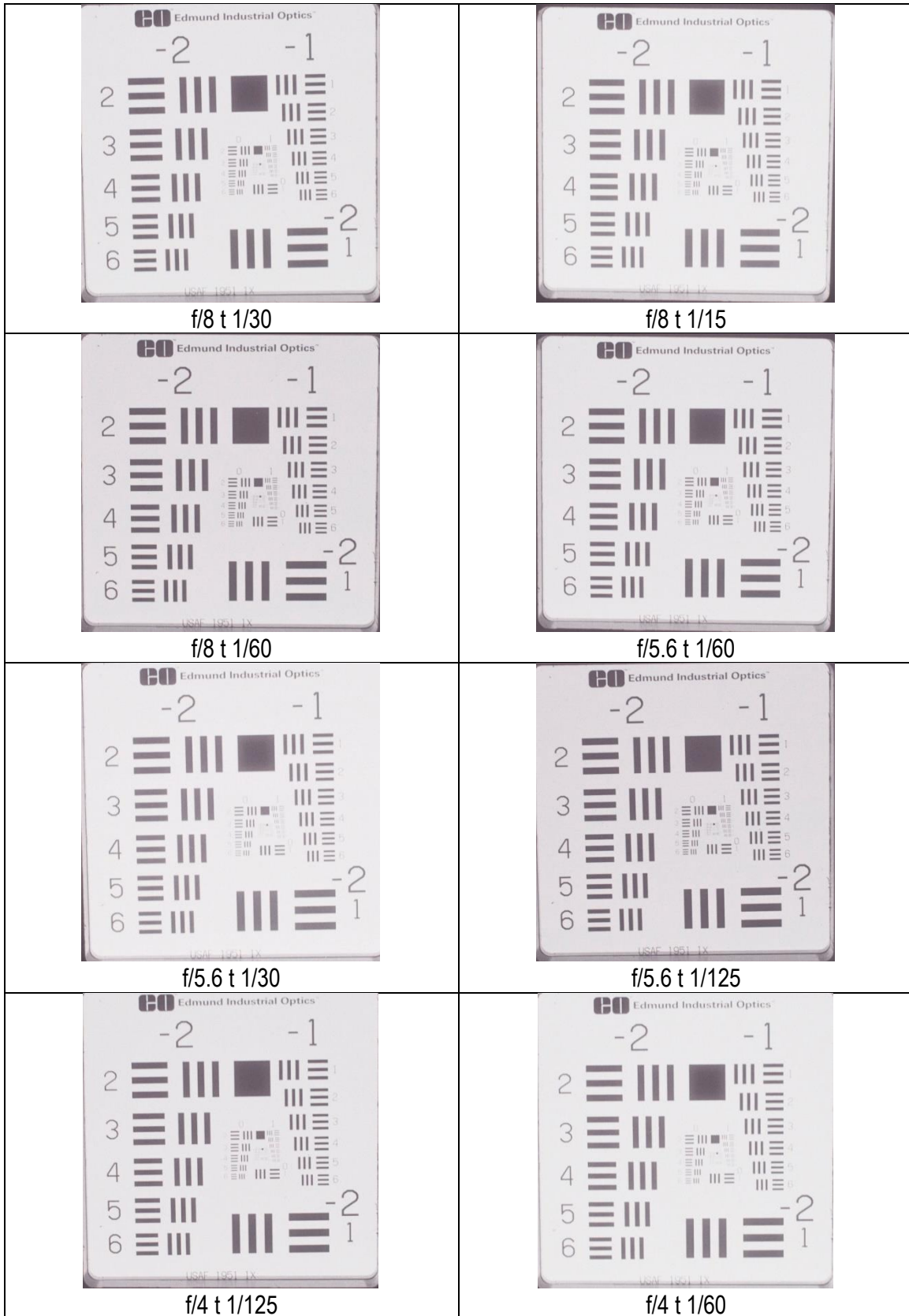
- Kilgore. (sense data). *DeCamaras Fotografia Digital*. Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://www.decamaras.com/CMS/content/view/357/61-Que-es-y-que-nos-aporta-la-MTF>
- León, N. (sense data). *Dzoom*. Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://www.dzoom.org.es/el-balance-de-blancos/>
- Méndez, Á. (2 / Maig / 2011). *La Guía*. Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://quimica.laguia2000.com/general/quimica-del-revelado-fotografico>
- Méndez, R. (sense data). *3lentes.com*. Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://3lentes.com/sensores-ccd-cmos/>
- Najarro, J. (3 / Setembre / 2010). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://quieromicamara.blogspot.com.es/2010/09/partes-de-la-camara-analoga.html>
- Philo Grafía*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://philografia.wordpress.com/tecnica/peliculas-bn/peliculas-ortocromaticas/>
- Quecamarareflex*. (sense data). Consultat el 11 / Juny / 2018, a <http://quecamarareflex.com/como-funciona-el-sensor-de-una-camara-digital/>
- Toledo, M. (12 / Mayo / 2008). *Xataka*. Consultat el 11 / Juny / 2018, a <https://www.xataka.com/fotografia-y-video/partes-de-un-camara-reflex-digital-i>

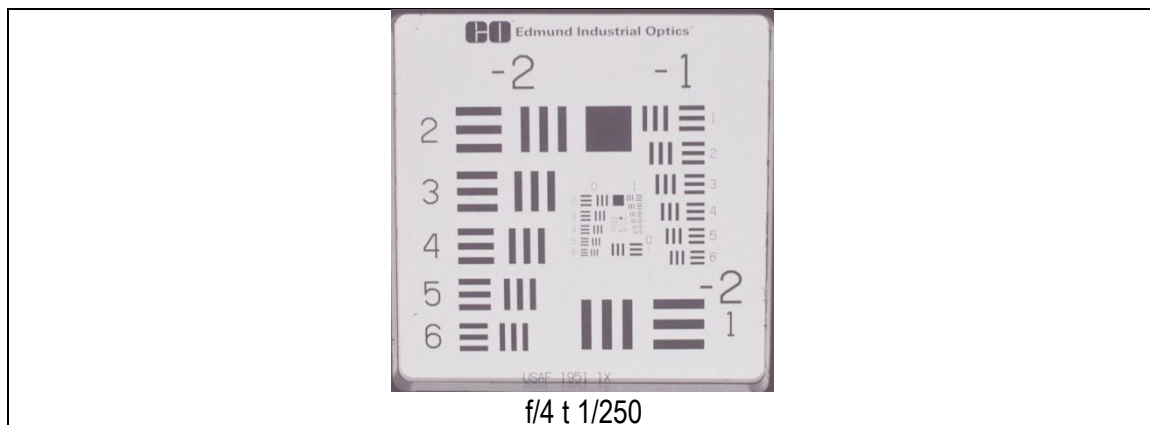
10. Annex

A continuació es mostren les imatges obtingudes per al test USAF amb la càmera analògica. S'han fet mesures per a diferents combinacions de temps d'exposició i apertura de diafragma per tal de determinar quina és la que dona major resolució.

Les imatges digitalitzades i positivades dels negatius es mostren a la taula següent, tot indicant els paràmetres que s'han fet servir per fer la fotografia.







En la taula següent es mostren els resultats de la resolució amb l'anàlisi d'aquesta amb el microscopi.

PARÀMETRES	RESOLUCIÓ
f/16 t 1/8	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/ 16 t ¼	Group 1 Element 4 → 2.83 lp/mm
f/16 t 1/15	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/11 t 1/30	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/11 t 1/15	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/ 11 t 1/60	Group 2 Element 1 → 4.00 lp/mm
f/8 t 1/30	Group 2 Element 1 → 4.00 lp/mm
f/8 t 1/15	Group 2 Element 1 → 4.00 lp/mm
f/8 t 1/60	Group 2 Element 1 → 4.00 lp/mm
f/5.6 t 1/60	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/5.6 t 1/30	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/5.6 t 1/125	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/4 t 1/125	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/4 t 1/60	Group 1 Element 4 → 2.83 lp/mm
f/4 t 1/250	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm

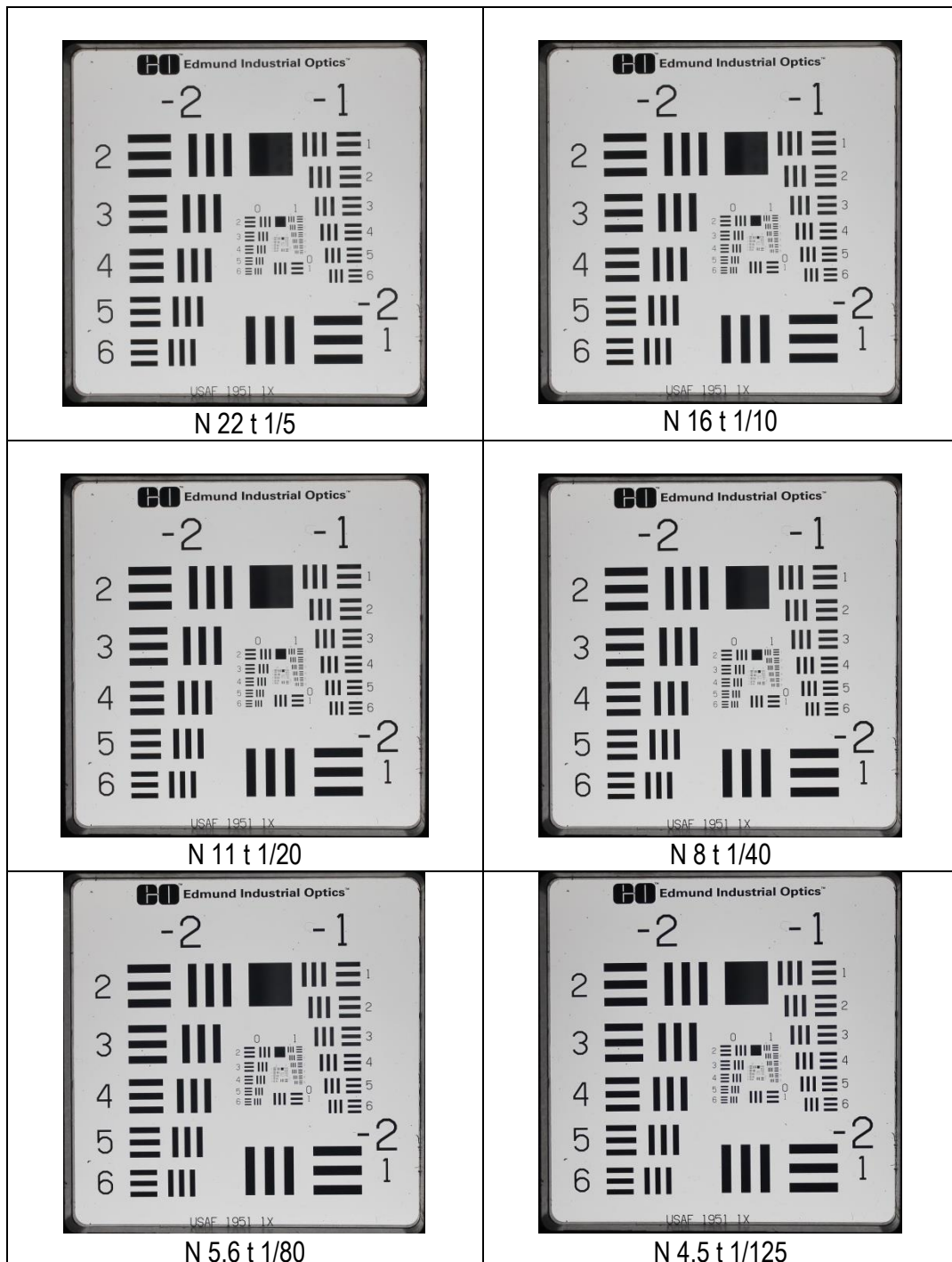
En la taula següent es mostren els resultats de la resolució amb l'anàlisi dels positius digitalitzats. Aquesta part del treball ens mostrarà si hi ha una pèrdua visible de la qualitat de la imatge en digitalitzar els negatius amb el millor dels sistemes de digitalització de les imatges.

PARÀMETRES	RESOLUCIÓ
f/16 t 1/8	Group 1 Element 4 → 2.83 lp/mm
f/ 16 t ¼	Group 1 Element 2 → 2.24 lp/mm
f/16 t 1/15	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/11 t 1/30	Group 1 Element 5 → 3.17 lp/mm
f/11 t 1/15	Group 1 Element 5 → 3.17 lp/mm
f/ 11 t 1/60	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/8 t 1/30	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/8 t 1/15	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/8 t 1/60	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/5.6 t 1/60	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm

f/5.6 t 1/30	Group 1 Element 6 → 3.56 lp/mm
f/5.6 t 1/125	Group 1 Element 5 → 3.17 lp/mm
f/4 t 1/125	Group 1 Element 4 → 2.83 lp/mm
f/4 t 1/60	Group 1 Element 3 → 2.52 lp/mm
f/4 t 1/250	Group 1 Element 4 → 2.83 lp/mm

Tal i com es pot observar en els resultats de totes dues taules, hi ha una pèrdua de qualitat en la imatge després de digitalitzar el negatiu.

A continuació mostraré les imatges obtingudes amb la càmera digital amb els paràmetres emprats per fer la fotografia.



En la següent taula s'indica la màxima resolució a la qual s'arriba amb la càmera digital emprada i amb els diferents paràmetres de temps i obertura.

PARÀMETRES	RESOLUCIÓ
N 22 t 1/5	Group 2 Element 5 → 6.35 lp/mm
N 16 t 1/10	Group 3 Element 1 → 8 lp/mm
N 11 t 1/20	Group 3 Element 1 → 8 lp/mm
N 8 t 1/40	Group 3 Element 2 → 8.98 lp/mm
N 5.6 t 1/80	Group 3 Element 2 → 8.98 lp/mm
N 4.5 t 1/125	Group 3 Element 2 → 8.98 lp/mm

Quan s'augmenta el numero de diafragma (es disminueix el diàmetre) hi ha una disminució de la resolució a causa de la difracció (fenomen que es produeix per la desviació de les ones en xocar amb un objecte, en aquest cas el diafragma).