

MESURA DE LA QUALITAT EN LA DIGITALITZACIÓ DE COL·LECCIONS FOTOGRÀFIQUES

Carles Mitjà¹, Jaume Escofet²

¹ CITM/Escola de Fotografia FPC / UPC. Terrassa (Barcelona). carles.mitja@fpc.upc.es

² Departament d'Òptica i Optometria / UPC. Terrassa (Barcelona). jescofet@oo.upc.es

INTRODUCCIÓ

Les recomanacions a l'entorn de la correcta digitalització de col·leccions fotogràfiques [4-FREI], fan esmena explícita de la necessitat de conservar vinculades a l'arxiu resultant de l'esmentada digitalització les dades de caracterització de l'equipament utilitzat. Aquestes recomanacions preveuen la utilitat de poder disposar d'aquestes dades en el futur, per una vegada desapareguts els equips que s'utilitzaren, els operadors i, en alguns casos, fins i tot el material original, seguir conservant un vincle objectiu entre les característiques de l'original digitalitzat i la qualitat observada en l'arxiu digital.

Si una de les finalitats de la digitalització de col·leccions fotogràfiques és augmentar el nivell de preservació de les mateixes reduint la manipulació directe dels originals [3-FREI], resulta obvi que el nivell de qualitat exigida al sistema de digitalització hauria de ser el més alt possible. La tria de l'equip a utilitzar cal fer-la, doncs, en funció de l'expectativa de qualitat proporcionada pel mateix.

En un altre ordre de coses, la conservació futura d'aquesta mena d'informació constitueix un referent de la qualitat de la imatge proporcionada per l'equipament. Aquest coneixement ha de permetre revisar els processos de tractament de les imatges digitalitzades a mesura que evolucionin tant el programari com el maquinari emprats.

Una de les dades considerades rellevants en aquest context, és la funció de transferència de la modulació (*MTF* per *Modulation Transfer Function*) del sistema de digitalització utilitzat. La *MTF* proporciona una informació numèrica i objectiva de l'expectativa de qualitat proporcionada per la càmera o l'escàner.

Per la determinació de la *MTF* d'equips fotogràfics digitals no es necessita cap altre equipament que un ordinador personal per visualitzar la imatge de prova i un programari tant senzill com un full de càlcul; també és possible utilitzar programari específic de lliure accés a Internet com l'*Sfrwin 1.0*® de Labview® [11-WILL.]. Les imatges destinades a la determinació de la *MTF* d'un sistema de digitalització, han de reunir unes condicions que en facilitin la mesura. Per tal de garantir la consistència dels resultats, cal disposar d'una mostra patró adient per enregistrar-la amb el sistema que es sotmet a prova.

El treball que es presenta proposa un mètode per la determinació de la *MTF* d'una càmera fotogràfica digital o un escàner. El mètode planteja la preparació de la mostra patró, la captació de les imatges, la determinació de la *MTF* i la interpretació dels resultats. A tall d'exemple, es mostren i es comenten els resultats de la mesura de la *MTF* de tres càmeres fotogràfiques digitals i dos escàners.

MESURA OBJECTIVA DE LA QUALITAT

Les imatges proporcionades per un sistema d'enregistrament fotogràfic digital pateixen una reducció del contrast o modulació a causa de diversos fenòmens inherents als sistemes òptics formadors de la imatge i al sensor d'enregistrament, *CCD* o *CMOS*. Aquesta reducció del contrast resulta més evident amb l'augment de la freqüència espacial del senyal d'entrada o objecte [12-WILL.]. A la *fig., 1* es mostra, en el gràfic del centre, la modulació o reducció del contrast soferta per la imatge de les barres de la mira de resolució *USAF1951* a mesura que augmenta la freqüència espacial de les mateixes. Aquesta modulació està representada per la disminució de la intensitat màxima de les barres i l'augment de la intensitat mínima a l'espai entre les diferents barres i elements.

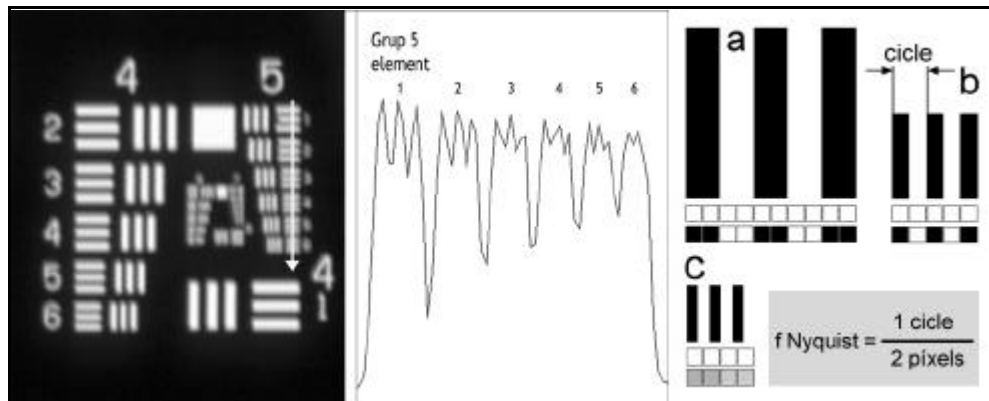


Fig., 1. Esquerra: Imatge de la secció central de la mira de resolució USAF1951, amb indicació del traçat del valor de gris dels píxels que es mostra en el gràfic del centre.

Dreta: a) El senyal d'entrada té una freqüència més baixa que la freqüència de mostreig: el sistema és capaç de resoldre-la.

b) La freqüència del senyal d'entrada és la meitat de la freqüència de mostreig: el sistema encara és capaç de resoldre el senyal. La freqüència de Nyquist del sistema és el doble de la freqüència espacial del senyal d'entrada.

c) La freqüència del senyal d'entrada és més gran que la de mostreig del sistema: el senyal no pot ser resolt per el sistema.

Els sistemes de formació d'imatges mitjançant matrius discretes d'elements com els fotorreceptors dels sensors *CCD* o *CMOS*, tenen a més una capacitat limitada en la resolució de detalls petits que ve determinada per la freqüència del mostreig o nombre de fotorreceptors del sensor per unitat de longitud. En el gràfic del centre de la *fig., 1*, es pot observar que l'element 5 de la mira és el darrer en que es pot observar les tres barres que el componen. La freqüència espacial representada per aquest element, és la darrera que el sistema resol i s'anomena freqüència de tall, límit de resolució o freqüència de *Nyquist*. En els gràfics de *MTF*, la freqüència s'expressa en cicles per píxel (*cicles/píxel*) o cicles per unitat de longitud (*cicles/mm*); al cicle també se l'anomena parell de línies (*p per line pair*). L'equivalent als cicles per mil·límetre és el parell de línies per mil·límetre (*lp/mm*).

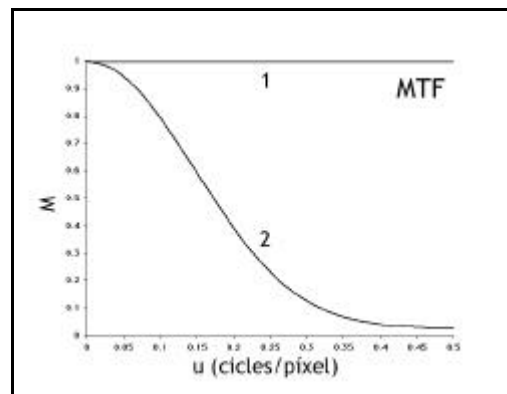
Els sistemes de mostreig només poden mostrar o resoldre freqüències menors de la meitat de la freqüència de mostreig, essent aquesta última la representada per la distància entre els centres de dos fotorreceptors consecutius en els sensors *CCD* o *CMOS*. A la dreta de la *fig., 1* es pot

apreciar la capacitat de resolució limitada per la mida dels fotorreceptors. Per a una distància entre centres de dos fotorreceptors consecutius donada (*pitch*), s'estableix una freqüència de mostreig que implica una limitació en la mida del detall més petit que el sistema pot mostrar o resoldre.

Quan als sistemes discrets se'ls hi envia un senyal d'entrada de freqüència espacial més gran que la meitat de la freqüència de mostreig del sistema, es pot produir el que s'anomena *aliasing* o resolució espúria [9-WILL.], en la que el sistema torna un senyal de freqüència inferior a la del senyal d'entrada. En el traçat del centre de la *fig.*, 1 corresponent a l'element 6 de la mira de resolució USAF1951, es pot observar que el gràfic mostra només dues barres mentre que la mira en té tres.

La mesura objectiva de la qualitat proporcionada pels sistemes d'enregistrament d'imatges, íntimament relacionada amb els mecanismes de la percepció visual, es basa doncs en la mida del mínim detall reproduïble pel sistema i el contrast amb que aquest detall és mostrat pel mateix. Un gràfic de la modulació soferta per la imatge (contrast) enfront de la freqüència espacial del senyal d'entrada (mida del detall) o objecte (*fig.*, 2), és el que s'anomena la funció de transferència de la modulació o *MTF* [2-BOR.].

Fig., 2. Gràfics de MTF on es mostra el factor de modulació de la imatge "M", com a funció de la freqüència espacial del senyal d'entrada "u". La freqüència espacial del senyal d'entrada s'expressa, en aquest cas, en cicles/píxel. A la part superior (1) es representa la MTF d'un sistema hipotètic perfecte. El gràfic inferior (2) pertany a un sistema real, en el que el factor de modulació de la imatge o contrast de la mateixa disminueix a mesura que augmenta la freqüència del senyal d'entrada. La freqüència més alta detectable pel sistema és de 0,5 cicles /píxel.



MESURA DE LA MTF

Diversos són els mètodes que permeten la determinació de la *MTF* d'un sistema d'enregistrament d'imatges fotogràfiques. En general, es tracta de sotmetre el sistema a un senyal d'entrada de freqüència espacial creixent al menys fins al límit de resolució del mateix. Això es pot aconseguir mitjançant l'enregistrament de la imatge de mires de resolució amb ones quadrades o sinusoidals, registre de vores o registre de patrons de distribució aleatòria.

La utilització de mires de resolució amb ones quadrades o sinusoidals per determinar la *MTF*, té els inconvenients d'haver de disposar de la mira de la freqüència adient en cada cas i del preu de les mateixes; a més, la mida física de les mires dificulta el seu correcte posicionament en la zona d'interès del camp imatge i obliga, en molt casos, a la repetició de mesures. Al contrari, els patrons de distribució aleatòria permeten fer mesures en tot el camp imatge però presenten dificultats de preparació del patró. Per superar aquesta dificultat, es pot utilitzar un patró comercialitzat amb l'únic inconvenient del cost.

El registre d'una vora per determinar la *MTF*, constitueix un mètode senzill amb una sèrie d'avantatges. En primer lloc, les vores es troben presents en multitud d'objectes o resulten fàcils de configurar mitjançant procediments gràfics. El posicionament de la vora en el camp imatge no presenta cap dificultat i, donada la facilitat d'obtenció, és possible preparar vores de mida i posició específiques per assaigs determinats. Finalment, el senyal d'entrada constituït per una vora conté infinites freqüències [6-JACOB.]. En aquest últim cas es té la seguretat doncs, de sotmetre al sistema a senyals d'entrada amb freqüències més enllà del seu límit de resolució. El fet de poder fer-ho en un sol assaig, no fa sinó facilitar el treball i millorar-ne la estandardització amb les conseqüències de fiabilitat que d'això se'n deriven. Per la independència d'instrumental especialitzat i la facilitat en la preparació de la vora patró, l'enregistrament d'una vora per determinar la *MTF* del sistema, és el mètode que es proposa en aquest treball.

PREPARACIÓ DE LA VORA PATRÓ

La vora patró per la mesura de la *MTF* d'una càmera digital o un escàner ha de reunir una sèrie de condicions que la facin adient al propòsit de la mesura:

- La primera condició implica que el traçat de la vora ha de fer-se amb un mètode, gràfic o fotogràfic, que garanteixi un nivell de resolució prou alt com per superar els límits del sistema que es sotmeti a prova.

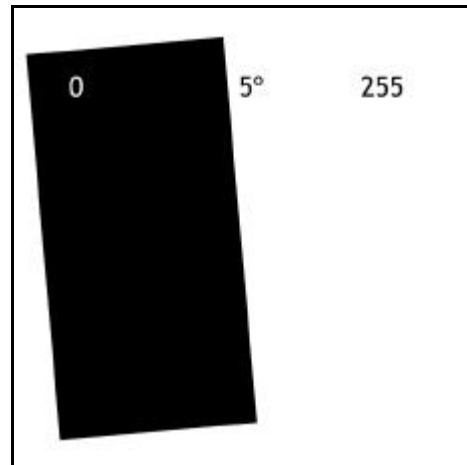
- La segona condició que ha d'acomplir la vora patró rau en el fet de la necessària uniformitat tant en l'àrea clara com la fosca del patró.

- Una tercera condició és que la superfície entintada de la vora patró sigui perfectament opaca i composta d'un sol to sense gradacions. Tenint en compte que la vora patró serà tant perfecte com ho sigui el procés d'impressió utilitzat, cal evitar que aquest introdueixi gradacions tonals en la zona de la vora; per fer-ho, cal imprimir-la exclusivament amb tinta negra si s'utilitza una impressora de doll de tinta.

Encara que generalment les impressores de qualitat fotogràfica imprimeixen amb més resolució quan s'utilitza el mòdul d'impressió en color, l'esforç del programari de gestió (*driver*) genera una vora composta de multitud de petites gotes de tinta de diversos colors, originant una transició suau a la zona de la vora entre el negre i el blanc. Imprimint només amb tinta negra, la pèrdua de resolució que suposa aquest sistema es veu compensada per la opacitat de la tinta que proporciona una vora amb transició brusca a cadascuna de les fileres o columnes de fotorreceptors.

Després d'analitzar els avantatges i inconvenients dels diferents mètodes per obtenir la vora patró, s'ha optat per la impressió digital amb impressora de doll de tinta de 2440dpi de resolució màxima sobre paper brillant de qualitat fotogràfica. La imatge del patró que es mostra a la *fig.*, 3, s'ha dibuixat amb un programa de dibuix vectorial a una resolució d'arxiu de 300ppi. El conjunt mesura 14x14cm i la inclinació del rectangle negre és de 5° respecte els marges del patró. La mida del conjunt s'ajusta a la necessitat, en aquest cas, de subjectar el patró en un suport de càmera de banc òptic amb unes

dimensions de $14 \times 14 \text{ cm}$. En cada situació de prova caldrà ajustar el patró a la mida de l'àrea de l'escàner que es vol analitzar o a l'augment de la imatge en el cas de la càmera.



*Fig., 3.
Mostra de la vora patró
utilitzada en el present
treball. El rectangle
negre està inclinat 5°
respecte de la vertical.*

La inclinació de la vora patró obeeix al fet que els sistemes de mostreig com les matrius de fotorreceptors dels sensors electrònics, no posseeixen invariància espacial. El càlcul de la resposta promig del sistema i la corresponent *MTF*, assumeixen la posició aleatòria de l'objecte respecte de la matriu de fotorreceptors [2-BOR.]. La inclinació de la vora patró implica una conseqüent inclinació de la mateixa respecte de l'enquadrament de la càmera digital i de l'àrea de lectura de l'escàner.

OBTENCIÓ DE LES IMATGES DE LA VORA PATRÓ

A causa de la ja mencionada manca d'invariància espacial dels sistemes de mostreig i dels procediments utilitzats per cada equip en la conversió, transmissió i emmagatzematge de les dades captades pels fotorreceptors, és possible que un determinat dispositiu no proporcioni el mateix rendiment en procedir a mesures en diferents direccions respecte de la matriu de fotorreceptors. Cal doncs, orientar la vora patró en direcció vertical per fer mesures de fileres de píxels (mesura horitzontal) i en direcció horitzontal per mesurar columnes de píxels (mesura vertical), i determinar les *MTF* corresponents a les dues direccions de mesura.

Tant en el cas de les càmeres digitals com dels escàners, cal realitzar les captacions amb les condicions en que es treballarà amb els originals i mantenir registre d'aquestes condicions per adjuntar-les a les metadates dels arxius resultant de la digitalització dels originals de la col·lecció.

En el cas de les càmeres és important la informació que fa referència a objectius (tipus i focal), el diafragma, el temps d'exposició, la il·luminació i l'augment de treball. Si es preveu treballar amb diferents mides d'original o es canvia d'objectiu i/o d'il·luminant, cal fer captacions de la vora patró en cadascuna d'aquestes condicions, assumint que algunes d'elles poden suposar diferències de rendiment per a un mateix equip.

Cal conèixer i enregistrar la selecció de paràmetres en la càmera com to, color, contrast, màscara d'enfocament, mida i compressió d'arxiu, gamma, sensibilitat, ajustatge de blancs, etc., per adjuntar-la a l'arxiu resultant de la

captació corresponent. De la mateixa forma que quan es reproduïxen originals de l'arxiu, és necessari evitar que es puguin reflectir a la superfície de la vora patró les fonts d'il·luminació i/o el objectes situats en l'entorn immediat. En el cas dels escàners, cal mantenir també sota control i registre totes les condicions de treball i, sobretot, els ajustatges en el programari de gestió de l'escàner.

També es recomana l'escanejat dels originals en modalitat *RGB* per mantenir la informació de color de l'original encara que aquest sigui còpia de processos en blanc i negre, a causa del viratge i color propis de cada sistema de positivatge. Una de les característiques dels sistemes d'obtenció d'imatges per procediments digitals, és la no necessària coincidència del nivell de qualitat proporcionada per cada canal *RGB*. És necessari, doncs, determinar la *MTF* de cada canal si el registre del color constitueix un paràmetre important per el cas particular.

Finalment, tant en el cas de la càmera com en el de l'escàner, cal assegurar la correcta exposició per tal d'evitar la saturació dels fotorreceptors en la zona blanca de la vora patró. En tots els assaigs del present treball, els píxels de la zona blanca de la vora patró s'han ajustat a un valor de gris de entre 245 i 250 en l'escala de 0 a 255.

CÀLCUL DE LA MTF

El procediment de càlcul per la determinació de la *MTF* a partir de la imatge d'una vora [1-AX. i 6-JACOB.], es pot dur a terme amb programes de processat d'imatge com *ImageJ*[®] de *NIH* i programes de càlcul com l'*Excel*[®] de *Microsoft*[®]; el *Tool Kit*[®] de processat d'imatge de *MatLab*[®] també permet de realitzar els càlculs necessaris. El programa *Sfrwin 1.0*[®] de *Labview*[®] està específicament dissenyat per determinar la *MTF* d'un sistema a partir de la imatge d'una vora i és tracte de programari de lliure disposició a Internet [11-WILL.].

Amb l'*Sfrwin 1.0*, tot el que cal fer és obrir la imatge, seguir les instruccions del programa per seleccionar una zona de la vora i prémer un botó per tal de veure les *MTF* dels tres canals *RGB* en un mateix gràfic. El gràfic es pot imprimir i les dades es poden guardar en format text per exportar-les a un altre programa de càlcul si es considera necessari. Les dades informen també de la possible falla de registre entre els tres canals *RGB*.

EQUIPAMENT ANALITZAT

S'han determinat les *MTF* de tres tipus de càmera fotogràfica digital corresponents a tres nivells de desenvolupament tecnològic:

- 1) Respatller digital acoblable a càmeres de banc òptic i format mig amb un sensor *CCD* de 2048x2048 fotorreceptors (4.096.576 fotorreceptors), 23x23mm i dues modalitats de captació:
 - a) sense interpolació de color.
 - b) amb interpolació de color a partir d'un mosaic amb filtre *Bayer*.

2) Càmera digital professional SLR amb un sensor CCD de 2016x3024 fotorreceptors (6.096.384 fotorreceptors), una mida de 15,5x23mm i captació amb interpolació de color a partir d'un mosaic amb filtre Bayer.

3) Càmera digital *prosumer* (contracció anglesa de *professional* i *consumer*) amb un sensor CCD de 1920x2560 fotorreceptors (4.915.200 fotorreceptors), una mida aproximada de 6x8mm i captació amb interpolació de color a partir d'un mosaic amb filtre Bayer.

En segon lloc s'han calculat les MTF de dos escàners:

4) Escàner del segment d'electrònica de consum per a originals opacs fins a DIN-A4 i transparències fins a 4x5inch. La resolució òptica anunciada és de 1200dpi. S'ha analitzat la funció d'originals opacs fins a DIN-A4 a les resolucions interpolades de 300 i 600dpi i la òptica de 1200dpi.

5) Escàner de gama alta per a originals opacs fins a DIN-A3 i transparències fins a 20x25cm. Resolucions òptiques anunciades de 77, 309 i 928dpi. Resolucions interpolades des de 72 fins a 1500dpi. S'han analitzat les resolucions òptiques de 309 i 928dpi i la interpolada de 600dpi, per una modalitat de treball amb originals fins a DIN-A4.

Les resolucions triades per analitzar els escàners, ho han estat en funció de les recomanacions sobre l'escanejat d'originals opacs com les còpies en blanc i negre o color de col·leccions fotogràfiques i arxius [3-FREI. i 7-STAW.].

RESULTATS

CÀMERES

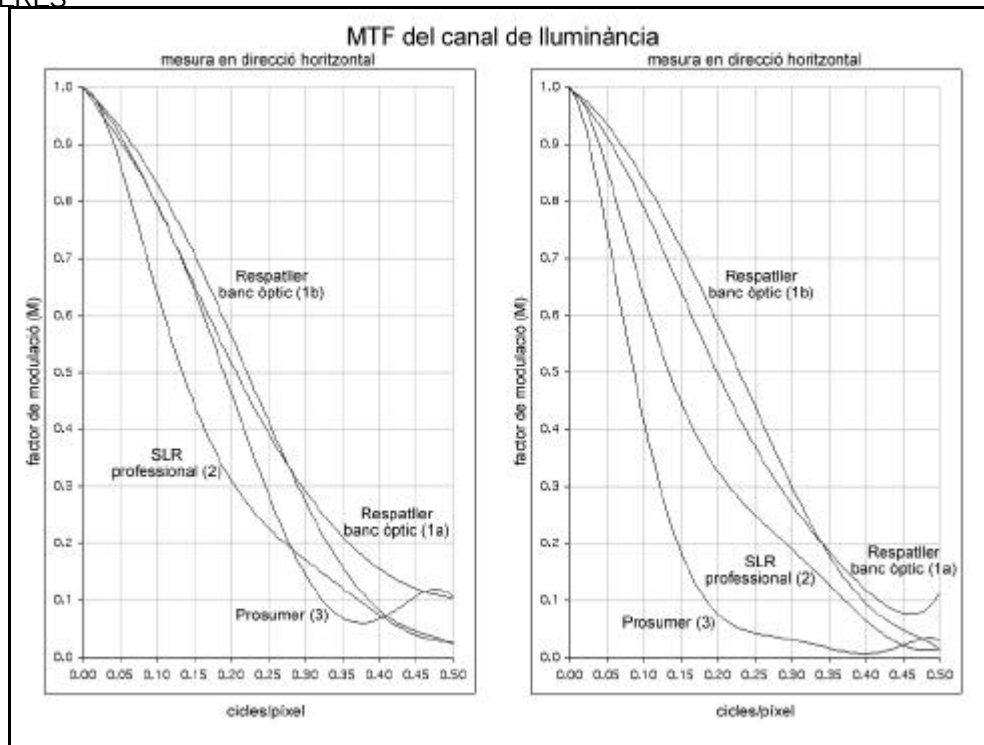


Fig., 5. Gràfics MTF de les càmeres analitzades amb el mètode que es presenta. A l'esquerra es mostren els resultats de les mesures en direcció horitzontal i a la dreta els corresponents a les mesures en direcció vertical.

A la Taula 1 es comparen els valors dels resultats de les tres càmeres provades:

CÁMERA	M per a la freqüència 1xNyquist	M per a la freqüència 0,5xNyquist	Freqüència en cicles/píxel per $M = 0,1$
Respatller (1a), mesura horitzontal	0,10	0,37	0,50
Respatller (1a), mesura vertical	0,11	0,37	0,50
Respatller (1b), mesura horitzontal	0,02	0,40	0,37
Respatller (1b), mesura vertical	0,01	0,44	0,37
Càmera SLR professional, mesura horitzontal	0,03	0,22	0,37
Càmera SLR professional, mesura vertical	0,01	0,26	0,37
Càmera prosumer, mesura horitzontal	0,11 (+)	0,29	0,31
Càmera prosumer, mesura vertical	0,04 (++)	0,04	0,18

Taula 1

+) Encara que a la freqüència de Nyquist la càmera prosumer reté un valor de 0,11 per el factor de transferència de la modulació M mesurat en la direcció horitzontal, aquest baixa a 0,05 per a una freqüència de 0,8x Nyquist.

++) Per a la mesura en la direcció vertical, la càmera prosumer reté un valor de factor de transferència de la modulació M de 0,04 a la freqüència de Nyquist. No obstant, aquest valor baixa a 0,00 per a una freqüència de 0,75x Nyquist.

ESCÀNERS

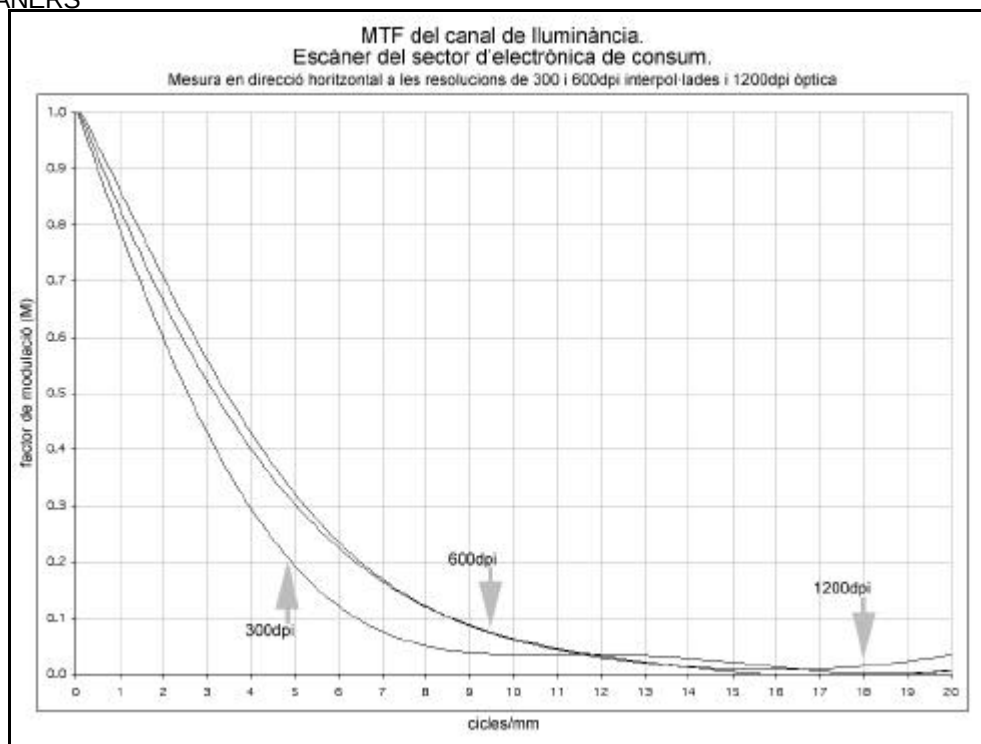


Fig., 6. Gràfics MTF de les resolucions interpolades de 300 i 600dpi i de la resolució òptica anunciada de 1200dpi, en un escàner del sector d'electrònica de consum (4). Les sagetes indiquen la freqüència de Nyquist per cadascuna de les resolucions provades.

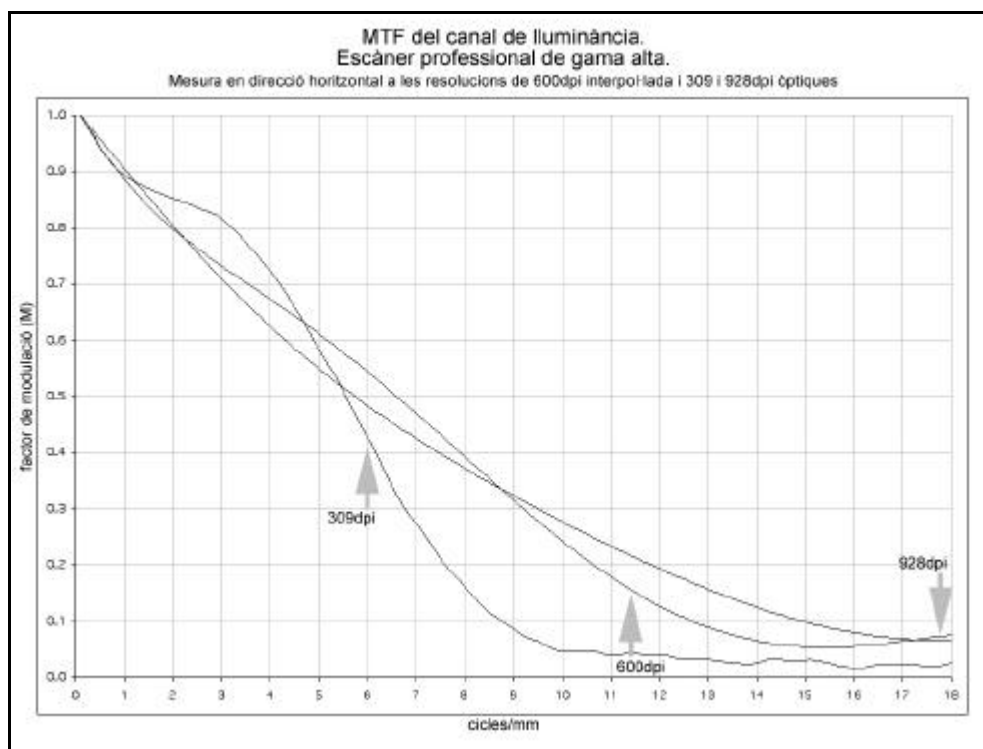


Fig., 7. Gràfics MTF de la resolució interpolada de 600dpi i de les resolucions òptiques anunciades de 309 i 928dpi, en un escàner professional de gamma alta (5). Les sagetes indiquen la freqüència de Nyquist per cadascuna de les resolucions provades.

A la Taula 2 es comparen els valors dels resultats dels dos escàners provats:

ESCÀNER	M per a la freqüència 1xNyquist	M per a la freqüència 0,5xNyquist	Freqüència en cicles/mm per M = 0,1
Electrònica de consum; mesura horitzontal, 300dpi	0,22	0,53	4,7
Electrònica de consum; mesura horitzontal, 600dpi	0,08	0,35	8,7
Electrònica de consum; mesura horitzontal, 1200dpi	0,00(+++)	0,08	8,7
Professional; mesura horitzontal, 309dpi (++++)	0,42	0,70	6,0
Professional; mesura horitzontal, 600dpi	0,18	0,52	11,3
Professional; mesura horitzontal, 928dpi	0,08	0,35	17,8

Taula 2

+++)) A destacar que la retenció de contrast a la resolució òptica anunciada és zero i, per tant, la imatge no es visualitzable. Aquesta resolució no representa cap avantatge, en termes de qualitat de la imatge resultant, sobre la interpolada de 600dpi.

++++)) La corba MTF per aquesta resolució mostra la presència d'una màscara d'enfocament encara que aquesta opció es va desactivar en el programa de gestió de l'escàner.

CONCLUSIONS

Respecte el mètode proposat, aquest es manifesta útil en la caracterització de l'equipament, tal com mostren els resultats. La preparació de la vora patró es realitza sense dificultat i això permet plantejar la possibilitat de preparar vores patró específicament dissenyades per cada ocasió tant pel que fa a la mida com a la posició. També és possible, amb aquest mètode, de preparar patrons amb més d'una vora posicionades, per exemple, en diverses zones del camp

imatge o amb diferents orientacions, afavorint la estandardització i consistència de les mesures.

Tant el càlcul de la *MTF* com el traçat del gràfic corresponent, poden fer-se sense cap dificultat amb el programari proposat i en qualsevol ordinador personal amb sistema operatiu *Windows*®. Els valors del factor de modulació de la imatge, (*M*), proporcionats per la *MTF* permeten valorar l'expectativa de rendiment dels diferents equips, comparar-los entre sí i adjuntar-los a les metadates dels arxius captats. Aquestes dades han de permetre, en el futur, conèixer el nivell de qualitat emprat en la digitalització i la relació de qualitat entre l'arxiu i l'original fins i tot en el cas que aquest hagi desaparegut.

REFERÈNCIES

- [1] AXFORD, N. R. (1999) MODULATION TRANSFER FUNCTION OF A DIGITAL CAMERA SYSTEM USING AN IMPLEMENTATION OF THE EDGE TECHNIQUE. [En línia]. Pàgina web, URL <http://www.wmin.ac.uk/itrg/is/msc/mtflab.pdf> [consulta 26/11/02].
- [2] BOREMAN, Glenn D. (2001) MODULATION TRANSFER FUNCTION IN OPTICAL AND ELECTRO-OPTICAL SYSTEMS. SPIE Press. Bellingham, Washington.
- [3] FREI, Franziska S. i REILLY, James M. (1999) DIGITAL IMAGING FOR PHOTOGRAPHIC COLLECTIONS. Foundations for Technical Standards. Image Permanence Institute. Rochester.
- [4] FREI, Franziska S. (2002) CREACIÓ DE COL·LECCIONS DIGITALS. 7nes Jornades Antoni Varés. Girona.
- [5] GLYN, Earl F. USAF 1951 AND MICROCOPY RESOLUTION TEST CHARTS. EFG's, Tech. Note. [En línia]. Pàgina web, URL <http://www.efg2.com/Lab/ImageProcessing/TestTargets/> [consulta 27/07/01].
- [6] JACOBSON, R. E., RAY, S. F., ATTRIDGE, G. G. i AXFORD, N. R. (2000) THE MANUAL OF PHOTOGRAPHY. Focal Press. 9ªEd. London.
- [7] STAWOWCZYK, Andrew. (1999) OPTIONS AND PREFERENCES FOR COLLECTION DIGITISATION. Pictorial Digitisation Review Group.
- [8] TRIANTAPHILLIDOU, S., JACOBSON, R. E. y FAGARD-JENKIN, R. (2000) AN EVALUATION OF MTF DETERMINATION METHODS FOR 35MM FILM SCANNERS. Imaging Technology Research Group. University of Westminster, UK.
- [9] WILLIAMS, Don i BURNS, Peter D. (2001) DIAGNOSTICS FOR DIGITAL CAPTURE USING MTF. Eastman Kodak Company. Rochester. PICS2001, Montreal (227-232).
- [10] WILLIAMS, Don. (2000) SELECTING A SCANNER. Digital Library Federation. [En línia]. Pàgina web, URL <http://www.rig.org/visguides/visguide2.html> [consulta 20/07/04].
- [11] WILLIAMS, Don. (2000) SFRWIN 1.0 USER'S GUIDE. [En línia]. Pàgina web, URL http://www.pima/net/standards/it10/IT10_POW.htm [consulta 20/06/02].
- [12] WILLIAMS, John B. (1990) IMAGE CLARITY. HIGH-RESOLUTION PHOTOGRAPHY. Focal Press. Boston, London.

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat finançat per la Fundació Politècnica de Catalunya i pel Ministerio de Ciencia y Tecnología, projecte DPI2003-03931.