

DIGITALITZACIÓ DE MATERIAL FOTOGRÀFIC IMPRÈS

Carles Mitjà i Bea Martínez
CITM / FUPC / Laboratori de Qualitat de la Imatge (LQI).
Terrassa, Barcelona.
<carles.mitja@fundacio.upc.edu>

INTRODUCCIÓ

La reproducció per digitalització de material fotogràfic obtingut per procediments d'impressió en diaris, llibres o revistes, s'enfronta a la dificultat de la presència de la trama d'impressió. Si la resolució de digitalització no és més alta que la de la trama, la visibilitat d'aquesta no resulta evident i els algorismes *destramar* o *descreen* que solen equipar els escàners i els programes de processat d'imatge poden ajudar a millorar la qualitat de la imatge resultant. Ben al contrari, en aquells casos en que per necessitats d'ampliació de l'original, la trama disminueix de freqüència espacial i es fa clarament visible, la descripció i visualització del contingut iconogràfic de la imatge es veu clarament compromesa (*4-KEN* i *7-PICT*). El treball que es presenta estudia les possibilitats del processat digital en els dominis de l'espai i de la freqüència amb la finalitat de millorar, en la mesura del possible, la correcta visualització del contingut.

TRAMES D'IMPRESSIÓ

Els sistemes d'impressió anomenats de mig to (*halftone*) emulen les variacions tonals de l'original en base a variacions de la mida de les gotes de tinta dipositades sobre el paper de suport. La mida de les taques és més gran en les àrees fosques de la imatge mentre que disminueix en les àrees clares; quan les taques són més petites deixen entreveure en els espais buits el blanc o el color del paper que contribueix a la claror del conjunt. El sistema descrit és el bàsic per impressions monocromàtiques o a una sola tinta; una variació del mateix és el que s'utilitza en les impressions a color o quadricromies *CMYK* (*cian, magenta, yellow, black*) als que cal afegir el blanc (o el color de base del paper) en la descripció dels diferents tons i colors de la imatge.

Per tal d'aconseguir aquests resultats, un negatiu convencional es positiva en alt contrast a través d'una pel·lícula fotogràfica tramada amb un esquema geomètric i periòdic de forats amb variació radial de densitat. La imatge positiva resultant conté el patró de la trama amb la mida dels punts variant en proporció a la quantitat de llum transmesa pel negatiu. A partir d'aquesta imatge, cal insolar una planxa de material fotosensible que després d'un tractament fisicoquímic queda gravada en les posicions de les taques de la trama anteriorment esmentada. Aquest gravat és el responsable de la recollida de diferents quantitats de tinta per part del corró de la màquina d'impressió que, dipositada en el paper, serà proporcional a la densitat de l'original (*2-CART*).

Assumida l'emulació dels diferents tons amb el mètode descrit, cal evitar, en la mesura del possible, la visibilitat de la trama en el producte final imprès. Això s'aconsegueix fent que la trama tingui una freqüència espacial més alta que la que pot detectar l'ull a la distància de visió confortable a la que s'observen les imatges impreses. Si es pren el valor mig de resolució espacial de l'ull de la població amb visió sana o convenientment corregida (*1-ART*) com de $5 \text{ lp}\cdot\text{mm}^{-1}$ (*5 parells de línies per mil·límetre*), s'arriba a la conclusió que es necessiten trames amb freqüències superiors a $127 \text{ lp}\cdot\text{polzada}^{-1}$ o $254 \text{ l}\cdot\text{polzada}^{-1}$. La mesura de la freqüència de la trama s'anomena *lineatura*.

Aquests nivells de resolució no es podem assolir amb facilitat a causa de limitacions tècniques en la insolació de les planxes, en la viscositat de les tintes i el sistema de càrrega del corró i en la facilitat de la tinta per conservar la mida de la taca una vegada dipositada sobre un determinat paper durant el procés d'assecatge. És per això que les imatges de la premsa impresa, que utilitza paper de menys qualitat, tenen una trama més visible, de freqüència més baixa, que la de les quadricromies sobre paper de més qualitat com el que s'utilitza en llibres d'art o catàlegs publicitaris (*2-CART*).

Com més antic és el material imprès, més visible és la trama d'impremta a causa de les deficiències de construcció de la maquinaria emprada y del nivell tecnològic de desenvolupament de les característiques de les tintes i els papers. Això no obstant, encara que la trama sigui visible

per un espectador implicat en aquests processos, també és veritat que per una majoria d'observadors la seva presència no és especialment molesta ja que els processos de percepció del contingut de les imatges desvien l'atenció de les característiques purament estructurals de les imatges impreses. Així doncs, resulta habitual trobar lineatures amb freqüències fàcilment detectables per l'ull de l'observador en l'original y que, en ser digitalitzades i impreses amb sistemes actuals, posen en evidència aquestes trames encara que no s'ampliï la mida de l'original (4-KEN).

Com ja s'ha comentat anteriorment, la trama té una estructura geomètrica que segueix un patró periòdic. A la *Figura 1* es mostren dues trames ampliades corresponents a un sistema d'impressió monocromàtic de l'any 1923 i una quadricromia de 1956. Ambdues pertanyen a zones aproximadament neutres de la imatge impresa; a la part inferior, es mostren les trames corresponents als colors *Cian*, *Magenta*, *Groc* i *Negre* de la quadricromia. També en els dos casos la resolució de digitalització és entre sis i vuit vegades més gran que la lineatura utilitzada en la impressió i per tant, a cada punt de la trama li correspon més d'un píxel de la imatge resultant.

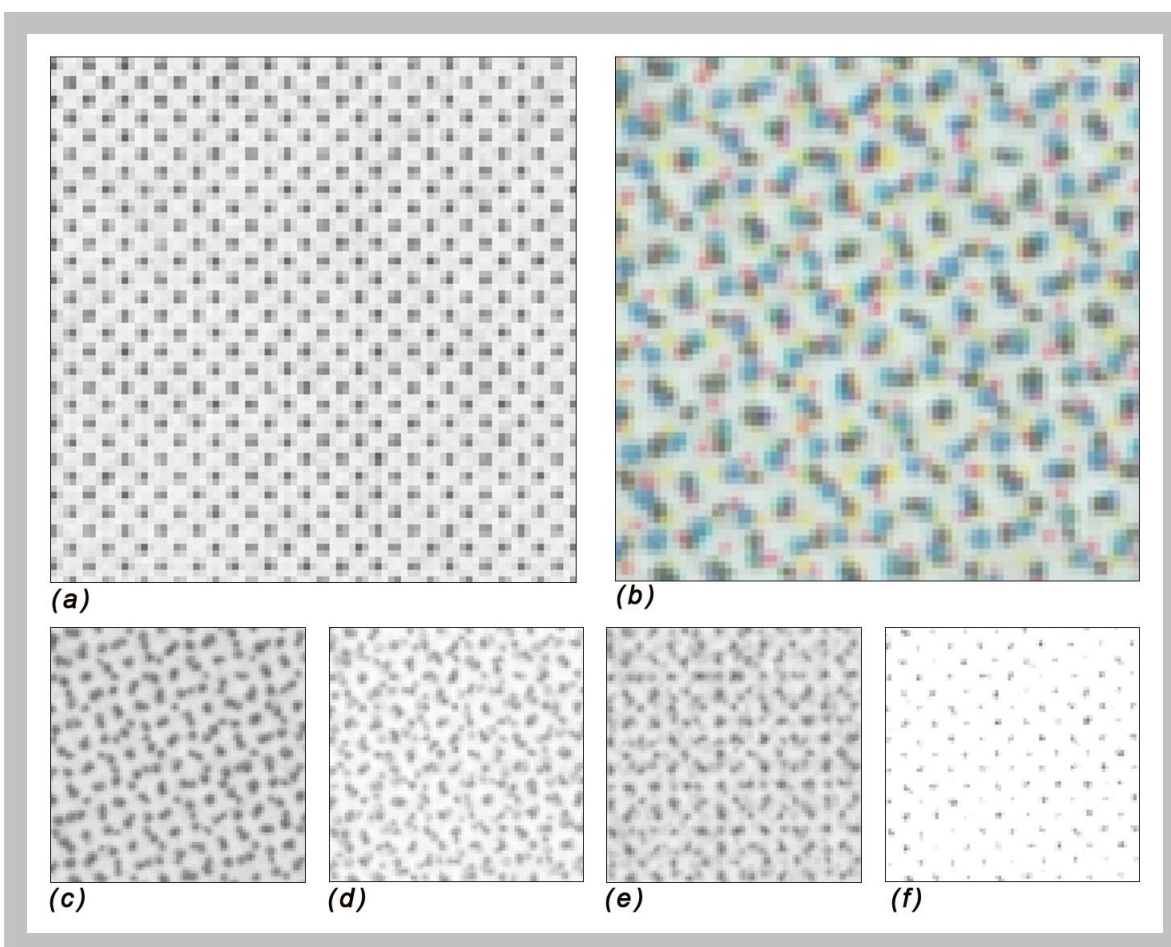


Figura 1. a) trama d'una imatge monocromàtica impresa al 1923; b) trama d'una impressió en quadricromia de 1956; a c), d), e) i f) es mostren les trames individuals dels colors cian, magenta, groc i negre de la quadricromia.

És important ressaltar que mentre l'estructura geomètrica de la trama monocromàtica resulta perfectament identificable, en el cas de quadricromia l'esquema no és tant clar, fins i tot quan s'analitzen els colors per separat. Essencialment, això es deu a diverses circumstàncies:

- Color del conjunt neutre però no exactament gris, el que implica diferents quantitats de cada una de les quatre tintes.
- Posicionament deliberadament asimètric de les quatre trames per evitar patrons de *moiré*.

- Re – mostreig de les trames originals a causa de la resolució de digitalització que crea més píxels que punts de trama amb la conseqüent aparició de colors entremetjats i diferents de les quatre tintes originals.

PROCESSAT EN EL DOMINI DE L'ESPAI

La digitalització dels originals obtinguts per impressió de mig to no implica cap dificultat especial respecte de la digitalització d'originals opacs en general. Des de el punt de vista de la presència de la trama en l'original, si la freqüència de la digitalització és igual o pròxima a la freqüència de la trama, es a dir, si la reproducció es manté en les mides originals, la trama no serà ni més ni menys visible que en l'original. Ben al contrari, si la resolució de digitalització és diferent i comporta una reducció o una ampliació de l'original, es produeixen fenòmens que alteren la visualització del contingut.

Assumint una sol·licitud de resolució similar per la impressió digital que per la de mig to, si la resolució de digitalització és més petita que la de la trama, la mida de l'original es redueix en imprimir-lo i en principi, la visibilitat de la trama també disminueix; en alguns casos, es poden produir alteracions del contingut per falses resolucions (*aliasing*) amb aparició de patrons de *moiré*, encara que aquest cas no és objecte d'estudi en el present treball. Si per contra, la resolució de digitalització es més gran que la de la trama, la mida de la copia impresa augmenta respecte de l'original i amb ella, la visibilitat de la trama comprometent la correcta visualització del contingut iconogràfic. El problema s'agreuja amb els sistemes d'impressió digital actuals que, per imprimir amb qualitat, sol·liciten resolucions de l'arxiu superiors a les lineatures habituals.

Els aparells de digitalització com els escàners i els programes de processat d'imatge incorporen eines que permeten minimitzar la visibilitat de les trames (filtres *destramar* o *descreen*); aquestes eines es basen generalment en filtres anomenats d'ordenació (*ranking filters*) que treballen en el domini espacial com el de *mediana*. El filtre calcula el valor del píxel de sortida prenent com a referència el valor de gris dels píxels veïns al d'entrada, generalment en una matriu senar que l'envolta (*3-GOM*); els quadres de diàleg d'aquestes filtres permeten modular la mida d'aquesta matriu en *3x3*, *5x5*, *7x7*, etc. A continuació, el filtre substitueix el valor de gris del píxel central per la mediana calculada a partir dels valors de gris dels píxels de la matriu, incloent-hi el propi valor. Resulta obvi que la pretensió és eliminar les diferències respecte el conjunt que restaran sempre lluny de la mediana de la sèrie, sobre tot si es tracte d'ocurrències aïllades com en el cas del soroll aleatori.

En el cas de les imatges tramades, els filtres de mediana actuen de forma eficaç per les zones de la imatge amb els punts de la trama petits, és a dir, les zones clares de les imatges; cada punt de la trama es troba relativament aïllat en un entorn de fons del paper i la ordenació de valors de la matriu del filtre, deixa en un extrem el valor de gris del píxel que correspon al punt de la trama. En les parts fosques de la imatge la trama no resulta tant visible perquè les taques de deposició de tinta són grans i arriben a sobreposar-se entre elles.

És en les zones mitges on les taques de la trama resulten d'una mida prou gran com per fer-se visibles i alhora, afectar diversos píxels de la imatge digital; això fa que en la sèrie ordenada a partir de la matriu del filtre, el valor de la mediana quedi afectat per el valor de gris de la taca, resultant en la substitució del valor de gris del píxel per un de igual o molt similar. En aquest cas, augmentar la mida de la matriu d'anàlisi no aporta cap benefici perquè, en tractar-se la trama d'un esquema geomètric i periòdic, a la sèrie corresponent sovintegen els valors corresponents a les taques de la tinta i acaben afectant al valor de la mediana. En alguns casos, fins i tot es reproduïx un nou patró periòdic que no es correspon amb el de la trama original.

A la *Figura2* es mostren els resultats d'aplicar diferents valors de matriu amb el filtre de mediana a una imatge tramada. L'aplicació de la mediana de *5x5* elimina pràcticament els punts de la trama del fons clar darrera el conductor i del cromat del parabrisa però deixa encara visible una bona part de la trama dels tons mitjos a la cara, la ma i la carrosseria del vehicle. La matriu de *7x7* deixa encara algunes restes de trama, mentre que la de *9x9* fa reaparèixer nous patrons periòdics a la cara i la ma.

En una altre ordre de coses, a mesura que s'amplia la mida de la matriu del filtre, les zones sense gaire textura com el vermell de la carrosseria esdevenen més plans i mancats de variació tonal;

això és una conseqüència lògica com a resultat de l'aplicació d'un filtre que te com a missió eliminar la presència de píxels que representin una variació respecte els del seu entorn. També, amb les matrius més grans, es percep una pèrdua de nitidesa en les vores contínues del parabrises cromat. Resulta interessant d'observar que mentre la presència de la trama dificulta la lectura correcte del contingut general, el contrast que provoca la presència de les taques de tinta en les zones de transició entre clar i fosc produeix una sensació de més definició que quan el filtre ha eliminat aquests punts de tinta. Per altre banda, a la zona fosca de l'uniforma sota la cara, el filtre elimina els punts de la trama perdent-se així unes variacions tonals que enriqueixen la visibilitat del teixit.



Figura 2. Aplicació de filtres de mediana a una imatge tramada a l'entorn Adobe Photoshop CS3; a) imatge original, b) mediana de matriu 5x5 (factor 2), c) mediana de matriu 7x7(factor 3) i d) mediana de 9x9 (factor 4).

Una alternativa a la utilització de matrius de filtratge grans amb el seguit d'inconvenients que generen, la constitueix l'aplicació de filtres de matriu petita de manera reiterada. A la Figura 3 es mostren els resultats d'aplicar de forma successiva una, dues, tres i quatre vegades el mateix filtre de mediana de matriu 5x5 a la mateixa imatge de la Figura 2. Aquesta aplicació reiterada arriba a uns resultats diferents que l'aplicació de matrius amb entorns més extensos; un dels avantatges és que no es produeix l'aparició de nous patrons periòdics encara que la pèrdua de nitidesa i de variabilitat tonal son manifestes.

Les eines específiques de destramat dels instruments de digitalització combinen filtres de mediana o similars com el de *mediana híbrida bidimensional* o el *Kuwahara (3-GON)* amb filtres de desenfocament tipus la convolució de la imatge amb una matriu els coeficients de la qual obeeixen a una distribució de Gauss. En qualsevol cas, l'aplicació d'aquests filtres te una sèrie de característiques comunes com a resultat, que es poden resumir en:

- Nivells de correcció del defecte diferents en funció del valor tonal de les diferents àrees de la imatge.
- Pèrdua de nitidesa i riquesa textural en determinades àrees de la imatge.
- Introducció de nous patrons periòdics per aplicació excessiva del filtratge.



Figura 3. Aplicació reiterada del filtre de mediana de matriu 5x5 a la imatge tramada de la Figura 1 a l'entorn Adobe Photoshop CS3; a) x1, b) x2, c) x3 i d) x4.

D'alguna de les conclusions anteriors en resulta una tercera alternativa que consisteix en aplicar filtratges de mediana diferents a les diferents àrees de la imatge en funció de la mida de les taques de la trama. Per aplicar una eina de segmentació com ara un llindar, cal primer eliminar la presència de les gotes de tinta de la trama i convertir la imatge en àrees promig per valors tonals de conjunt. Això es pot aconseguir aplicant prèviament un filtre de desenfocament de Gauss; una vegada suavitzada la imatge, aplicant una segmentació per llindar es poden crear tantes seleccions com es cregui necessari per, seguidament, tractar-les amb els filtratges específics que més convinguin.

A la *Figura 4* es mostren els resultats de segmentar la imatge original de la *Figura 2* en dues àrees, els tons clars amb punts de trama petits i els tons més foscos amb punts de trama més extensos. Per fer-ho, s'ha aplicat primer un filtre de Gauss a tota la imatge amb un valor per la desviació estàndard de la distribució de $\sigma = 3,0$; això permet uniformitzar les diferents àrees de la imatge eliminant la presència de la trama. A partir de la versió suavitzada de la imatge, s'aplica un llindar de, en aquest cas, *valor de gris = 150*, per separar les zones clares de les fosques. Utilitzant aquestes seleccions, s'aplica tres vegades un filtre de mediana de matriu 5×5 a les zones clares (*Figura 4, c*) i una vegada un filtre de mediana de matriu 11×11 a les zones fosques (*Figura 4, d*), sempre sobre la imatge original sense desenfocar.



Figura 4. Aplicació de diferents filtres de mediana a dues àrees de la imatge original mostrada en la Figura 1. a) aplicació d'un filtre de Gauss per suavitzar i uniformitzar les diferents àrees de la imatge; b), llindar per separar les àrees clares de les fosques; c) reiteració de tres filtres de mediana de matriu 5×5 a les zones clares. d) aplicació d'un filtre de mediana de matriu 11×11 a les zones fosques de la imatge.

PROCESSAT EN EL DOMINI DE LA FREQUÈNCIA

Mentre el processat de les imatges en el domini de l'espai utilitza les coordenades de posició dels píxels i els seus valors de gris per calcular el valor de gris de sortida després de la modificació aplicada, el processat en el domini de la freqüència genera la imatge de sortida operant sobre l'espectre de potències de la imatge que resulta d'aplicar-li la funció transformada de Fourier (3-

GON). En processat d'imatges, aquesta funció s'aplica en una versió simplificada anomenada funció transformada ràpida de Fourier (*FFT* per *Fast Fourier Transform*).

Una explicació detallada del procés de càlcul de la *FFT* transcendeix aquest treball. L'aplicació bidimensional de la *FFT* a una imatge digital, proporciona uns resultats que es poden visualitzar de diverses formes, essent una d'elles una nova imatge anomenada *espectre de Fourier* o *espectre de potències* on les coordenades espacials del píxels representen les ones contingudes en la imatge original, la seva freqüència i la direcció de propagació, mentre que el valor de gris dels mateixos píxels és funció de la visibilitat o contrast amb que aquestes ones es manifesten en les diferents zones de la imatge que ajuden a compondre. En resum, l'aplicació de la *FFT* a una imatge digital provoca un canvi de representació d'aquesta del domini espacial al freqüencial.

El processat de les imatges digitals en el domini de la freqüència té avantatges de velocitat computacional en algunes operacions però, sobre tot, resulta especialment eficaç en la identificació i/o localització de continguts periòdics o amb regularitats geomètriques en les imatges. En el cas que ens ocupa i tal com ja s'ha comentat a l'apartat *Trames d'impressió*, la trama es caracteritza per un esquema geomètric regular i repetitiu que implica una periodicitat definida; és a dir, cada trama de cada sistema d'impressió de mig to es pot caracteritzar en termes de freqüència i orientació. Si s'aplica doncs, la *FFT* a una imatge digital d'un original tramada, s'han d'observar aquestes periodicitats i les seves característiques.

Per altre banda, el processat en el domini freqüencial permet, una vegada s'ha modificat la informació de l'espectre de Fourier, aplicar la funció transformada inversa per tal de recuperar la imatge amb les modificacions aplicades. Si s'identifiquen els punts de l'espectre de Fourier que representen la periodicitat de la trama, s'eliminen i es recupera la imatge mitjançant la transformada inversa, s'hauran eliminat de la imatge les periodicitats de la trama. A la *Figura 5* es mostren una trama d'impremta i l'espectre de Fourier corresponent.

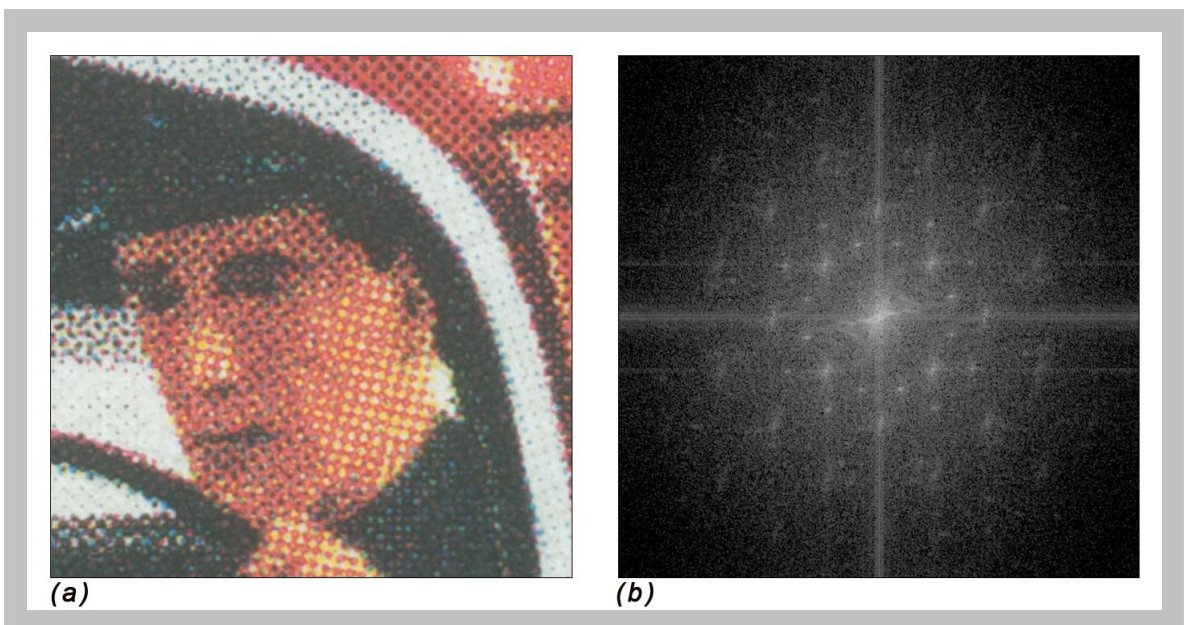


Figura 5. A l'esquerra (a), imatge tramada; a la dreta (b), espectre de Fourier de la imatge.

Les parelles de punts simètriques respecte el centre representen cadascuna de les periodicitats presents en la imatge; el seu allunyament del centre és funció de la seva freqüència i la seva intensitat ho és de la visibilitat en la imatge. A la *Figura 6* es mostra el procés d'eliminació de periodicitats no desitjades mitjançant el processat en el domini de la freqüència; la imatge utilitzada és la versió de l'original tramada i digitalitzada a la que se li ha aplicat un filtratge de mediana de matriu 7x7 (imatge (c) de la *Figura 2*). A la imatge romanen restes de la periodicitat de la trama al front del personatge i a la carrosseria vermella del vehicle.

Vista la utilitat del filtratge freqüencial en la eliminació dels patrons periòdics presents en la imatge, es podria plantejar la utilització d'aquest mètode des de el principi sobre la imatge original

tramada. Aquesta hipòtesi s'enfronta amb el fet que la imatge original està exclusivament constituïda per la trama i per tant, la eliminació de la mateixa comporta la eliminació del contingut iconogràfic de la imatge. Aquest problema és especialment important en les zones clares de la imatge on la trama es troba clarament definida i envoltada pel blanc o color del paper; en les àrees fosques, al contrari, la trama està composta per punts de tinta més grans que en alguns llocs arriben a solapar-se entre ells constituint un to continu, deixant d'existir el patró periòdic.

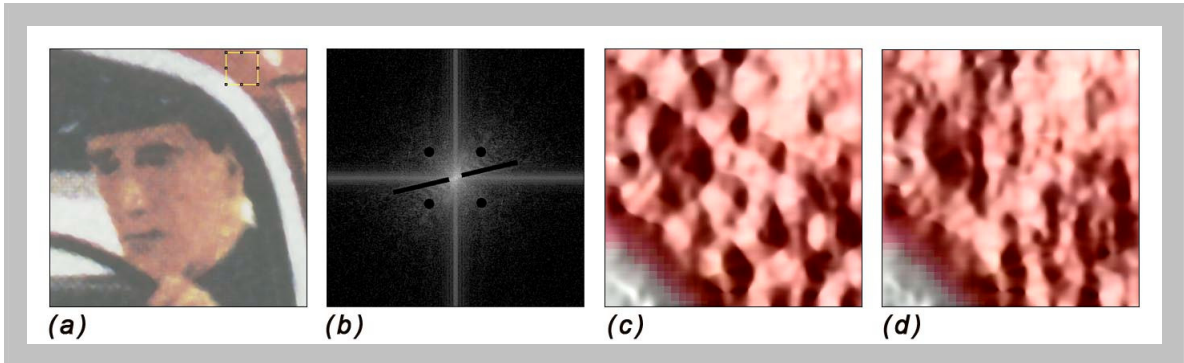


Figura 6. a) Imatge original després del filtratge de mediana de matriu 7x7 amb indicació de la selecció triada per comprovar l'efecte del filtratge freqüencial; b) espectre de Fourier amb la màscara en negre de les periodicitats a eliminar; c) relleu del valor de gris dels píxels de la selecció indicada; d) relleu del valor de gris dels píxels de la selecció indicada després del filtratge amb la màscara mostrada a (b).

Aquest plantejament, correcte des de el punt de vista teòric, mostra certa inconsistència en els casos pràctics a causa de la redistribució dels elements discrets de la imatge quan es passa de la trama present en l'original imprès a la graella de píxels de la imatge digitalitzada. Una digitalització amb la mateixa freqüència de mostreig que la de la trama d'impremta, adjudicaria un fotoreceptor, i per tant un píxel de la imatge resultant, a cada taca de tinta; no obstant això, la difusió de la càrrega en la superfície del fotoreceptor implica un canvi en la tonalitat de les taques de mida inferior a la dels dits fotoreceptors.

Seguint amb aquests raonaments, també cal tenir en compte que, en qualsevol cas, les taques de tinta de les trames son essencialment circulars i els fotoreceptors son rectangulars o quadrats. A més, la freqüència de mostreig de la digitalització difícilment coincideix amb la freqüència de la trama i això comporta la suavització del resultat i la eliminació d'algunes periodicitats durant el procés de digitalització en funció de la mida de les taques de tinta i per tant, del valor tonal de les diferents àrees de la imatge. Com més gran és la diferència entre les freqüències de mostreig de la digitalització i de la trama d'impressió, més difusió de la càrrega es produeix en els fotoreceptors i més contingut periòdic passa a tenir característiques de continuïtat que permet el filtratge freqüencial sense malmetre excessivament la descripció del contingut (5-MIT).

En les imatges digitalitzades a partir d'originals tramats es dona també el fet que la part de la trama de freqüència més baixa (taques de tinta més grans) mostra la seva periodicitat a la part central de l'espectre de Fourier junt amb la informació corresponent a les baixes freqüències no periòdiques de la imatge; aquesta coexistència dificulta la eliminació de la periodicitat perquè, en crear una màscara a l'espectre de Fourier, s'elimina també part de la informació contínua. Cal doncs, analitzar totes aquestes característiques abans de decidir un procediment de tractament.

CAS D'ESTUDI

En el present treball, es pren com a cas d'estudi la reproducció impresa d'una fotografia de Lluís Estasen presa durant la primera ascensió hivernal nacional al cim d'Aneto i publicada al butlletí del Centre Excursionista de Catalunya N^o340 del mes de maig de 1923. La imatge està impresa sobre paper acolorit *beige* amb una trama d'impressió de aproximadament 100/pi i la resolució de digitalització s'ha ajustat a 600ppi per tal d'aconseguir una còpia al doble de la mida original amb un sistema d'impressió *inkjet* que sol·licita 300ppi. Detalls dels resultats obtinguts es mostren a la Figura 7.

En utilitzar una freqüència de mostreig tant alta en relació a la freqüència de la trama, aquesta és clarament visible en la imatge digital ampliada. Per tal de minimitzar la presència d'aquesta trama i

seguint els raonaments descrits en els apartats anteriors, s'ha procedit al següent processat d'imatge:

1. Creació d'una versió de la imatge digitalitzada en escala de grisos de *8bit*. Amb això s'aconsegueix reduir l'esforç computacional i el color del paper es recupera amb posterioritat al tractament.
2. Filtratge de les periodicitats presents en la imatge mitjançant el processat en el domini de la freqüència amb aplicació seqüencial de la funció transformada de Fourier, selecció de la màscara de filtratge i transformada inversa per recuperar la imatge filtrada.
3. Aplicació reiterada triple d'un filtre de mediana de matriu 3×3 per eliminar les periodicitats romanents i el soroll.
4. Tractament individualitzat del cel de la imatge en termes de soroll.
5. Reparació de defectes d'impressió i de l'estat de conservació del document.
6. Pas a mode *RGB* de *8bit* per canal.
7. Recuperació del color de fons del paper mitjançant presa de mostres de l'original digitalitzat i emulació amb corbes individuals per cada canal de *RGB*.
8. Aplicació de màscara d'enfocament (*6-MIT*).

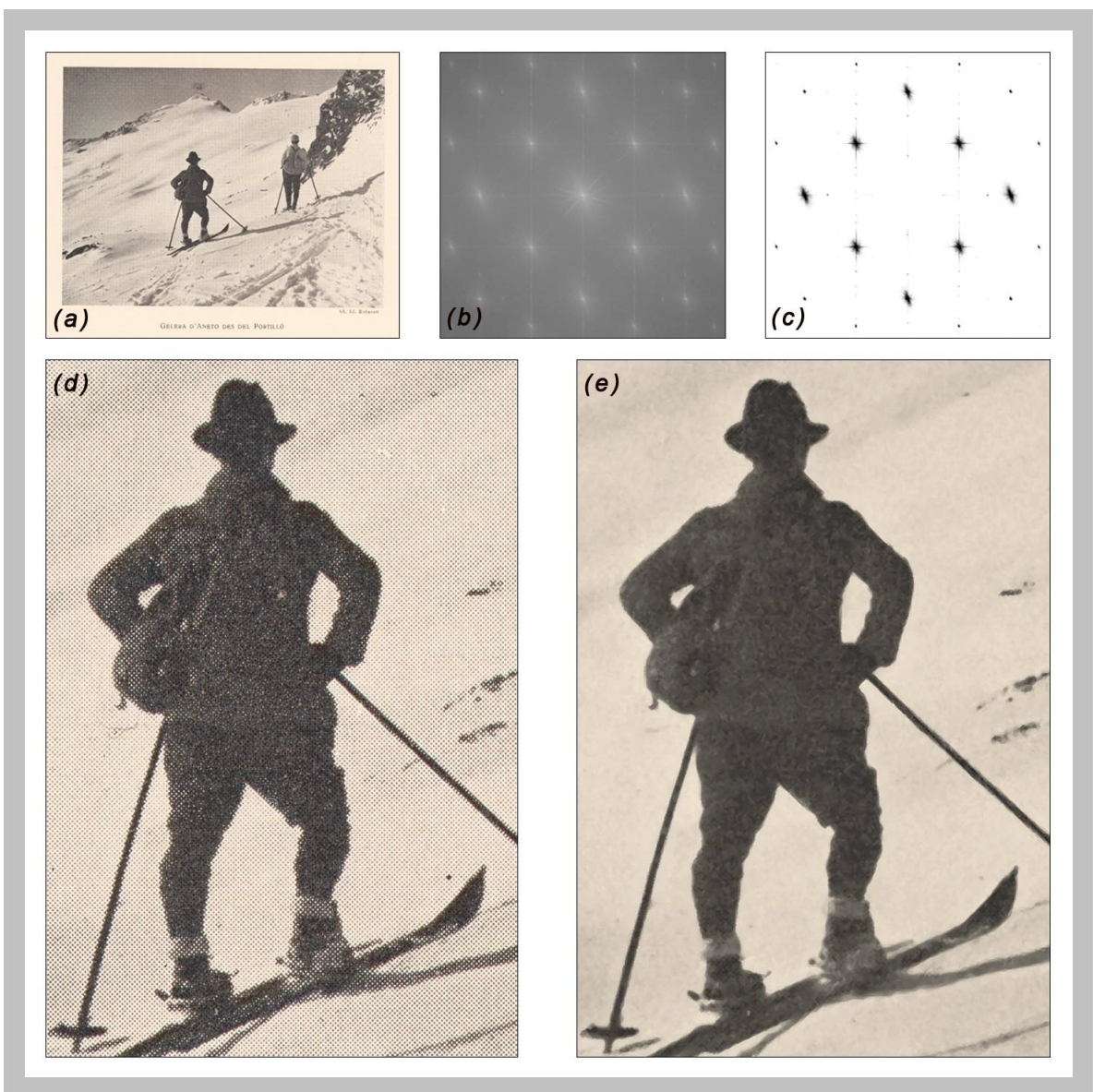


Figura 7. (a) Imatge tramada publicada al butlletí del CEC N°340 del Maig de 1923; (b) espectre de Fourier de la imatge tramada; (c) màscara per eliminar la majoria de periodicitats presents a la imatge; (d) selecció de la imatge original tramada; (e) imatge filtrada amb la màscara mostrada a (c) i processada digitalment per minimitzar el soroll, conservar to, color i contrast i reparar els desperfectes visibles.

CONCLUSIONS

La combinació d'eines de processat d'imatge en els dominis de l'espai i de la freqüència permet recuperar en bona mesura el contingut iconogràfic de la imatge fotogràfica original. En qualsevol cas, la combinació d'ambdues supera les prestacions i resultats de treballar només en un del dominis.

L'aplicació de la funció transformada de Fourier a les imatges digitalitzades i procedents de sistemes d'impressió de mig to, permet caracteritzar les trames utilitzades en la impressió i agrupar imatges per procedir a un tractament conjunt. Una vegada caracteritzada la trama, és possible preparar protocols de processat de lots d'imatges amb les mateixes característiques per agilitar la millora de quantitats considerables d'imatges; en aquest sentit, programes com *Adobe Photoshop* permeten dissenyar l'acció de conjunts d'operacions aplicables amb una sola ordre a carpetes senceres d'imatges.

La millora per processat de les imatges fotogràfiques tramades permet recuperar-les amb un nivell de qualitat molt acceptable fins i tot en aquells casos en que es dupliqui o tripliqui la seva mida original.

REFERÈNCIES

1. ARTIGAS, J.M. et alt. (1995) ÓPTICA FISIOLÓGICA. PSICOFÍSICA DE LA VISIÓN. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
2. CARTWRIGHT, H. M. (1961) GRAPHIC ARTS MANUAL VOL1 PHOTOENGRAVING. Ilford Ltd. Essex.
3. GONZÁLEZ, R. C. y WOODS, R. E. (2002) DIGITAL IMAGE PROCESSING, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
4. KENNEY, Anne R. and CHAPMAN, S. (1996) DIGITAL IMAGING FOR LIBRARIES AND ARCHIVES. Cornell University Library. Ithaca, New York.
5. MITJÀ, C. i MARTÍNEZ, Bea (2007) DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS IMPRESAS. Photomuseum, 3er Congreso de Historia de la Fotografía. Zarautz, Gipuzkoa.
6. MITJÀ, C., ESCOFET, J. y MARTÍNEZ, B. (2006) CRITERIOS DE MEJORA DE LA NITIDEZ DE BORDE EN IMÁGENES FOTOGRÁFICAS DIGITALES, 8ª Reunión Nacional de Óptica, Universidad de Alicante, Alicante.
7. PICTURE ELEMENTS, Inc. (1995) GUIDELINES FOR ELECTRONIC PRESERVATION OF VISUAL MATERIALS. LIBRARY OF CONGRESS PRESERVATION DIRECTORATE. Washington D.C.

AGRAÏMENTS

Els autors agraeixen el suport de la Fundació Universitat Politècnica de Catalunya.