



Determinació del FC en teixits de calada per processament de la imatge digital i espectroscòpia de reflexió. Montserrat Tàpias Anton. Febrer 2012



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Departament d'Òptica i Optometria



GOAPI  
Grup d'Òptica Aplicada  
i Processament d'Imatge

# TESI DOCTORAL

## DETERMINACIÓ DEL FACTOR DE COBERTURA EN TEIXITS DE CALADA PER PROCESSAMENT DE LA IMATGE DIGITAL I ESPECTROSCÒPIA DE REFLEXIÓ

Memòria presentada per

Montserrat Tàpias Anton

per optar al grau de Doctora per la UPC

Codirectors:

Dr. Jaume Escofet Soterias  
(Dept. d'Òptica i Optometria)

Dr. Miquel Ralló Capdevila  
(Dept. de Matemàtica Aplicada III)

Terrassa  
Febrer de 2012



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**  
Departament d'Òptica i Optometria

# **TESI DOCTORAL**

## **DETERMINACIÓ DEL FACTOR DE COBERTURA EN TEIXITS DE CALADA PER PROCESSAMENT DE LA IMATGE DIGITAL I ESPECTROSCÒPIA DE REFLEXIÓ**

Memòria presentada per

**Montserrat Tàpias Anton**

per optar al grau de Doctora per la UPC

Codirectors:

- Dr. Jaume Escofet Soterias (DOO)
- Dr. Miquel Ralló Capdevila (DMA III)



Terrassa, febrer de 2012





- Pàg. III: afegir al final “7.6 Annex VI: Validesa de la solució de l’equació (3.6-1), 155”
- Pàg. 13: on diu “El **Capítol 7** conté cinc annexos, un primer amb les imatges i resultats obtinguts amb les mostres emprades als Capítols 2 i 3. Els annexos II i III fan referència a desenvolupaments matemàtics del Capítol 4. L’annex 4 recull les imatges i gràfics de reflectància i  $FC$  de les mostres analitzades al Capítol 4. I, finalment, l’annex V recull les publicacions relacionades amb aquesta Tesi Doctoral.” ha de dir “El **Capítol 7** conté sis annexos, un primer amb les imatges i resultats obtinguts amb les mostres emprades als Capítols 2 i 3. Els annexos II i III fan referència a desenvolupaments matemàtics del Capítol 4. L’annex 4 recull les imatges i gràfics de reflectància i  $FC$  de les mostres analitzades al Capítol 4. L’annex V recull les publicacions relacionades amb aquesta Tesi Doctoral. I finalment, l’Annex VI conté un desenvolupament matemàtic relatiu al Capítol 3.”
- Pàg. 39: a l’inici de l’últim paràgraf, on diu “Aplicant l’anàlisi de la variància s’obté que una...” ha de dir “Aplicant l’anàlisi de la variància s’obté una...”
- Pàg. 70: a la fig. 2.5-2(a) diu “ $w_{1_1}$ ” i ha de dir “ $w_1$ ”
- Pàg. 73: on diu “Annex II” ha de dir “Annex VI”
- Pàg. 73: on diu “ $FC_1^{prel} = 0.849 \pm 0.002$ ” ha de dir “ $FC_1^{prel} = 0.874 \pm 0.002$ ”
- Pàg. 101: a l’eq. (4.2.3-3) on diu “ $T_{E0}$ ” ha de dir “ $T_{EO}$ ”
- Pàg. 119: a l’últim paràgraf, on diu “101” ha de dir “103”
- Pàg. 121: al punt 2, on diu “robusts” ha de dir “robustos”
- Pàg. 124: al punt 15, on diu “la reflectància de la capa  $j$ -èssima és” ha de dir “la reflectància d’un plec de  $j$  capes és”. Al final, on diu “la reflectància de la capa  $j$ .” ha de dir “la reflectància d’una capa de teixit.”
- Pàg. 155: falta l’Annex VI que és al darrera d’aquest full.



## 7.6 ANNEX VI: VALIDESA DE LA SOLUCIÓ DE L'EQUACIÓ (3.6-1)

En aquest annex es discuteix la validesa de la solució escollida de l'equació (3.6-1). El paràmetre  $q$  que recull la “degradació” dels detalls que contribueixen al  $FC$  en les imatges filtrades, ha de complir una equació de segon grau. L'equació és

$$q^2 FC_1^{prel} FC_2^{prel} - q(F C_1^{prel} + F C_2^{prel}) + FC = 0 \quad (\text{AVI-1})$$

i les dues solucions s'expressarien:

$$q = \frac{FC_1^{prel} + FC_2^{prel} \pm \sqrt{(FC_1^{prel} + FC_2^{prel})^2 - 4FC_1^{prel} FC_2^{prel} FC}}{2FC_1^{prel} FC_2^{prel}} \quad (\text{AVI-2})$$

Per assegurar que les solucions són reals i, per tant, que la hipòtesi sobre les relacions entre els factors de cobertura no és inconsistent, cal comprovar que el discriminant és positiu. Per simplificar la notació fem:

$$a = FC_1^{prel}, \quad b = FC_2^{prel} \quad \text{i} \quad c = FC \quad (\text{AVI-3})$$

així les solucions s'expressen com

$$q = \frac{a + b \pm \sqrt{(a + b)^2 - 4abc}}{2ab} \quad (\text{AVI-4})$$

Considerant específicament el discriminant, desenvolupant el quadrat, sumant i restant  $4ab$  i reagrupant termes,

$$(a + b)^2 - 4abc = (a - b)^2 + 4ab(1 - c) \quad (\text{AVI-5})$$

resulta que aquest discriminant s'expressa com la suma del quadrat d'un binomi, que és positiu, i un segon sumand que també és positiu atès que tant  $a$ , com  $b$  com  $c$  es troben entre 0 i 1. Per tant l'eq. (AVI-1) té 2 solucions reals.

Però, per acabar d'argumentar la consistència de la hipòtesi, encara cal verificar si alguna de les dues solucions de l'eq. (AVI-4) té sentit físic. La solució hauria de satisfer necessàriament  $0 \leq aq \leq 1$  i  $0 \leq bq \leq 1$  ja que, recordem,  $aq = FC_1$  i  $bq = FC_2$ .

Substituint  $q$  per (AVI-4) en la primera d'aquestes desigualtats anteriors i simplificant el factor  $a$  al numerador i al denominador, el problema consisteix en trobar si alguna de les dues determinacions (positiva o negativa) de l'arrel quadrada del discriminant satisfà:

$$0 \leq aq = \frac{a + b \pm \sqrt{(a + b)^2 - 4abc}}{2b} \leq 1 \quad (\text{AVI-6})$$

Així doncs, la desigualtat que s'ha d'acomplir és equivalent a

$$0 \leq a + b \pm \sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq 2b \quad (\text{AVI-7})$$

La desigualtat de l'esquerra de (AVI-7) sempre s'acompleix. Només cal comprovar que:

$$\mp \sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq a + b \quad (\text{AVI-8})$$

que resulta evident per a les dues determinacions de l'arrel. En canvi la desigualtat de la dreta només és certa per a la determinació negativa de l'arrel. Les següents seqüències de desigualtats equivalents ho posen de manifest:



Arrel positiva	Arrel negativa
$a + b + \sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq 2b$ $+\sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq b - a$ $(a + b)^2 - 4abc \leq (b - a)^2$ $a^2 + b^2 + 2ab - 4abc \leq a^2 + b^2 - 2ab$ $4ab(1 - c) \leq 0$ $(1 - c) \leq 0 \text{ que és } \mathbf{Falsa}$	$a + b - \sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq 2b$ $-\sqrt{(a + b)^2 - 4abc} \leq b - a$ <p>La desigualtat és certa quan <math>b - a \geq 0</math>.</p> $(a + b)^2 - 4abc \geq (b - a)^2$ $a^2 + b^2 + 2ab - 4abc \geq a^2 + b^2 - 2ab$ $4ab(1 - c) \geq 0$ $(1 - c) \geq 0 \text{ que és } \mathbf{Certa}$

Aquest raonament és totalment simètric per al terme  $bq$ . Finalment, la solució vàlida de (AVI-4) és la de l'arrel negativa, la que satisfà  $0 \leq qCF_i \leq 1$ .

Aquests arguments sostenen la consistència de la hipòtesi formulada i proporcionen el valor de la relació entre els  $FC$  parcials i els corresponents  $FC$  preliminars. És a dir, sempre serà possible trobar un valor  $q$  que faci concordants els  $FC$  parcials preliminars amb el  $FC$  global determinat en el segon capítol.



El meu pare deia: “*A vegades no et va bé de comprar, però s’ha de fer.*”  
I quanta raó tenia...

Tot el que es resisteix,  
persisteix.  
Tot el que s’accepta,  
es transforma.

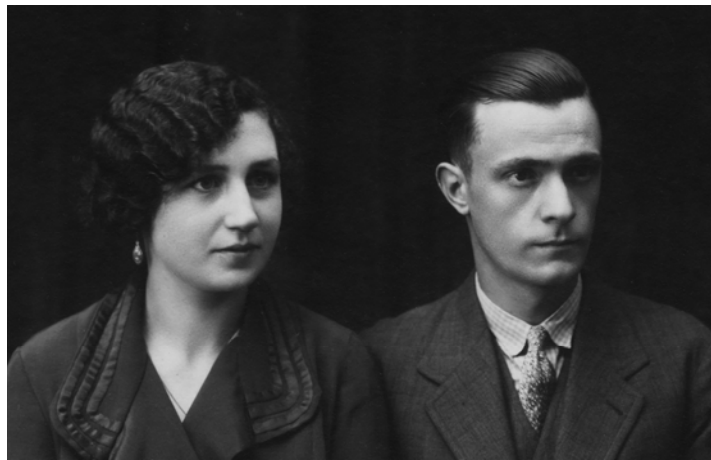
(Mercè Riera. El Xiprer, Granollers)



Al meu difunt Pare, en Miquel Tàpias Tudó que, tot i tenir la *Teoria de teixits*, es va dedicar al món del motor.



*Als avis Tàpias, en record a la petita indústria de 4 telers que tenien al fons del pati de la casa del Carrer de l'Era, i a les estones que m'hi havia passat fent canons.*



*Als avis Anton, per haver treballat un munt d'anys en la indústria del tèxtil.*

*I, finalment, al Xavi, la Pepa, la Lola, la iaia Lola i el Quicu, que celebraran amb escreix la fi d'aquesta etapa de la meua vida.*



## AGRAÏMENTS

---

Intentaré fer una recopilació de tothom qui m'ha donat un cop de mà al llarg d'aquest períple doctoral. Espero que si, en el remot dels casos, m'oblido d'algú, aquest no se senti ni ofès ni res d'això; és que simplement el meu Alzheimer incipient comença a jugar-me males passades.

- Als meus Codirectors de Tesi, Dr. Jaume Escofet i Dr. Miquel Ralló, per la seva intensa i altruista dedicació a desencallar els diversos entrebancs en què m'he trobat. Penso que el millor que m'emporto d'ells, a part dels seus ensenyaments, és la seva valuosa amistat.
- Al Grup d'Òptica Aplicada i Processament d'Imatge (GOAPI) de la UPC per haver-me acollit.
- A la Dra. Ascensió Riva i la Dra. Inés Algaba de l'INTEXTER, per la cessió d'una part de les mostres tèxtils emprades en aquesta tesi.
- Al Dr. Jordi Morató i les Dres. Sara Lluch i Gemma Julio, per facilitar el sistema de captura d'imatges.
- Als meus quasi germans i companys de despatx, el futur doctor José Luis Álvarez i la Dra. Aurora Torrents perquè amb el seu suport i paciència m'he estalviat moltes sessions de psicoanàlisi.
- Al pou de ciència anomenat Dr. Héctor Abril, per ajudar en tot el que ha calgut i per ser sempre allà al costat.
- Al experts observadors visuals que, amb molta paciència, van avaluar els factors d'obertura de 81 mostres, una rere l'altra, sense gairebé queixar-se: Domingo Alañà, Jose Luis Álvarez, Carme Blasi, Rosa Borràs, Marina Castañé, Edison Valencia, Elisabet Pérez, Joan Gispets, Jaume Escofet, Miquel Ralló, Marta Lupón, Joan Carles Ondategui, Lluïsa Quevedo, Eulàlia Sánchez, Carme Serés, Núria Tomàs i Aurora Torrents.

- A l'amic i professor del CITM, Carles Mitjà, pels seus cops de mà fotogràfics.
- A la Dra. Inés Algaba, per atendre les meves consultes.
- A Pere Batlle, per solucionar-me els problemes informàtics.
- Al Dr. Edison Valencia, un home amb molta experiència i un ós de peluix que m'ha ofert la seva càlida abraçada i ajut sempre que ho he necessitat.
- A Eloy Sam, David Castañer i Xavi Múrcia, per les feines de bricolatge.
- Al Dr. Jaume Pujol i la Dra. Meritxell Vilaseca, per facilitar unes mesures de comprovació amb l'espectrofotòmetre del CD6.
- Al Mestre Po, per ser el guia i suport de la Petita Llagosta.
- Al meu germà Quicu, pels temes d'assessorament i la foto de la portada.
- A la meva filla Lola, per escanejar les imatges de l'Annex IV.
- Al Servei de Llengües i Terminologia de la UPC, pel munt de vegades que els he requerit i, en especial, al Jordi Giner, la Luci Vázquez i la meva gran amiga Sílvia Llovera.
- Als/les bibliotecaris/es, per ser tan competents com són i, especialment, a la Mònica Sabrià i la Marta Serrat.
- A la UPC, per haver-me concedit un any sabàtic el curs 2008-09.
- Al Ministerio de Educación y Ciencia (MEC, convocatòria 2006). Plan Nacional de Diseño y Producción Industrial. Fondos FEDER. Ref. DPI2006-054791.
- Al Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN, convocatòria 2009). Plan Nacional de Diseño y Producción Industrial. Fondos FEDER. Ref. DPI2009-08879.
- A la meva família, per donar-me la vida que tinc fora de la UPC i, especialment, al meu marit Xavi.
- A tothom qui, de prop o de lluny, m'ha fet costat.



L'home, des dels seus més remots orígens, ha intentat cobrir el seu cos per protegir-lo contra diversos factors externs perjudicials per a ell (ja sigui el sol als tròpics o el fred a les zones temperades), així com, probablement, per donar servei a propòsits culturals o místics. La matèria primera més a mà de què va disposar, d'entrada, va ser la pell d'animals que, unida a altres pells amb tendons animals (enfilats amb agulles d'os) i treballada amb rudimentàries eines de pedra, li va permetre la confecció de les primeres vestimentes, altament simples i tosques (Home de Neandertal, d'uns 130,000 anys d'antiguitat) <sup>[Alfa 1997]</sup>.

Gràcies a l'observació de determinats objectes de l'entorn, com l'entrellaçat de filaments en nius d'aus, elaborades teranyines o peduncles de certes palmeres, les dones primitives (més aviat que no pas els homes) van iniciar la tècnica de la cistelleria, d'uns 10,000 anys d'antiguitat pel cap baix, amb l'afany de construir contenidors, espadenyas (Fort Rock, Oregon, de 10500 a 9300 anys d'edat absoluta <sup>[Conn 2010]</sup>) o bé tendals per a la pluja i el sol. És probable que aquesta fos la precursora de la tècnica del tissatge, uns quans anys més tard, i que els seus entramats servissin de model per a la confecció de superfícies treballades amb materials més tous i que s'acoblessin millor al cos. De tota manera, això no són més que conjectures ja que no es disposa de prou dades com per a certificar-ho. El desenvolupament de la teixidura ha anat indubtablement de la mà de la domesticació de les fibres naturals i del desenvolupament de la filatura.

Sigui com sigui, ha plogut molt des dels intents de cobrir el seu cos dels primers homes primitius fins l'home actual. La filatura i el tissatge han arribat a uns extrems d'especialització inimaginables no gaire anys enrere. Malgrat tot, el que en essència diferencia els primers pobladors dels homes contemporanis és que, mentre els primers només estaven interessats a cobrir el seu cos a fi de protegir-lo, els segons, a més d'això, volen saber exactament fins quin grau el tenen cobert. Aquesta última idea és l'eix d'aquesta tesi doctoral i al voltant d'aquest concepte, el factor de cobertura, en desfilaran d'altres que, juntament amb diverses tècniques, ens permetran avançar una mica més en el coneixement i la caracterització dels teixits tèxtils.



## **1. INTRODUCCIÓ I PROPÒSIT, 1**

- 1.1** El factor de cobertura en els teixits de calada. Importància i aplicacions, 1
- 1.2** Mesures del factor de cobertura i altres paràmetres relacionats, 5
- 1.3** Propòsit i organització de la memòria, 12

## **2. MESURA DEL FACTOR DE COBERTURA TOTAL. SEGMENTACIÓ I PERCEPCIÓ, 15**

- 2.1** Entorn experimental, 16
  - 2.1.1 Sistema de captació d'imatges, 16
  - 2.1.2 Característiques de les imatges captades, 18
  - 2.1.3 Característiques de les mostres analitzades, 21
- 2.2** La transformada de Fourier d'un teixit tèxtil. Interpretació, 21
  - 2.2.1 La transformada de Fourier discreta i la imatge digital, 21
  - 2.2.2 Freqüències i períodes d'ordit i de trama, 25
  - 2.2.3 Selecció de la regió idònia de la imatge per al càlcul del FC, 30
  - 2.2.4 Anivellament de la il·luminació de la imatge, 32
  - 2.2.5 Aplicació d'una *lookup table* a les imatges, 35
- 2.3** Segmentació visual, 35
- 2.4** Algorismes de segmentació automàtica, 40
- 2.5** Algorisme de segmentació proposat, 47
- 2.6** Aplicació de l'algorisme *MSSQ* a mostres atapeïdes, 50
- 2.7** Llei de Stevens, 51
- 2.8** Concordança amb la segmentació visual, 52

### **3. FACTORS DE COBERTURA PARCIALS, 55**

- 3.1** Definicions, 56
- 3.2** La transformada de Radon, 58
- 3.3** Aplicació de la transformada de Radon a l'espectre de potències per determinar les direccions de trama i d'ordit, 63
- 3.4** Càlcul exacte dels períodes. Retallada de la imatge contenint un nombre enter de períodes, 66
- 3.5** Filtratge a l'espai de Fourier. Extracció dels fils d'ordit i de trama, 68
- 3.6** Algorisme per al càlcul dels factors de cobertura parcials, 72
- 3.7** Diàmetre dels fils. Relacions amb les característiques nominals dels fils, 73
- 3.8** Diàmetre dels fils. Relacions amb la seva mesura manual, 78

### **4. RELACIÓ ENTRE EL FACTOR DE COBERTURA TOTAL I LA REFLECTÀNCIA DEL TEIXIT, 83**

- 4.1** La teoria de Kubelka-Munk, 84
  - 4.1.1 Conceptes previs de radiometria, 84
  - 4.1.2 La solució exponencial de Kubelka-Munk, 87
  - 4.1.3 La solució hiperbòlica obtinguda per Kubelka-Munk, 93
- 4.2** Aplicació de la teoria de Kubelka-Munk a la reflectància d'una pila creixent de capes de teixit, 95
  - 4.2.1 Relació conceptual entre el  $FC$  i la reflectància d'un teixit, 95
  - 4.2.2 El  $FC$  i la reflectància d'una pila creixent de làmines de teixit, 98,
  - 4.2.3 Modelització de la reflectància d'una làmina de teixit llis disposada sobre un substrat de recolzament opac amb reflectància coneguda, 100
  - 4.2.4 Formulació del model presentat, 102
  - 4.2.5 Generalització del model a una pila creixent de làmines de teixit, 106
- 4.3** Dispositiu experimental, 111
- 4.4** Presa de mesures, 113
  - 4.4.1 Calibratge inicial, 113
  - 4.4.2 Mesura de la reflectància d'una pila creixent de làmines de teixit, 115
  - 4.4.3 Mostres analitzades, 118
- 4.5** Resultats i discussió, 118

## **5. CONCLUSIONS, 121**

## **6. REFERÈNCIES, 125**

## **7. ANNEXOS, 133**

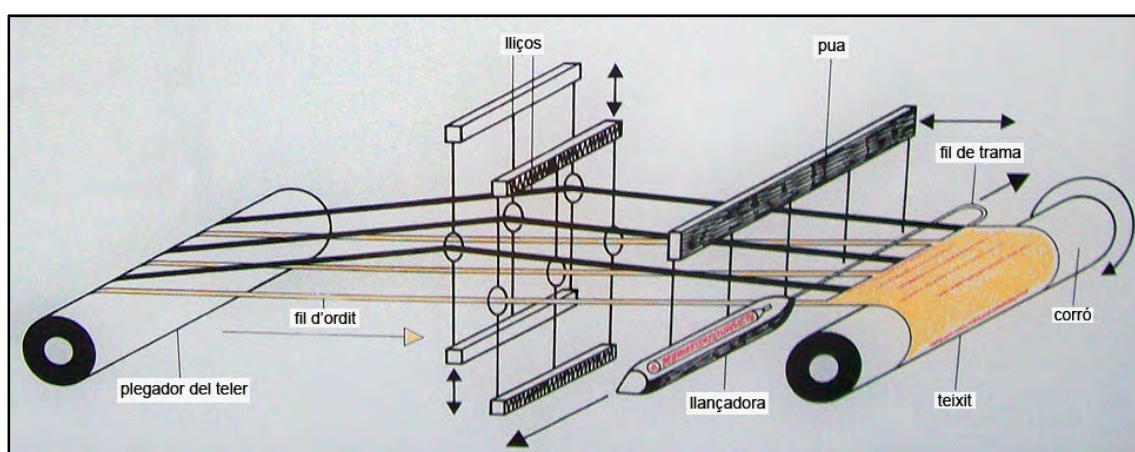
- 7.1** Annex I: Especificacions de fabricació, imatges i resultats obtinguts de les mostres dels Capítols 2 i 3, 135
- 7.2** Annex II: Procés per arribar a l'expressió (4.1.2-16), 147
- 7.3** Annex III: Resolució de la integral (4.1.2-17), 148
- 7.4** Annex IV: Imatges i gràfiques de reflectància de les mostres del Capítol 4, 149
- 7.5** Annex V: Publicacions relacionades amb la temàtica de la Tesi, 154



# 1. INTRODUCCIÓ I PROPÒSIT

## EL FACTOR DE COBERTURA EN ELS TEIXITS DE CALADA. IMPORTÀNCIA I APLICACIONS

S'entén per teixit de calada dos conjunts de fils paral·lels equidistants que es creuen i s'entrellacen de manera ortogonal. La sèrie de fils disposats longitudinalment rep el nom d'*ordit*, i cadascun dels seus elements, el *fil d'ordit* o simplement *fil*. La sèrie transversal de fils introduïts un a un, mitjançant la llançadora o la pinça, entre els fils d'ordit que ja es troben prèviament al teler, constitueix la *trama*, i cadascun dels fils de trama s'anomena *passada*. L'ordit està disposat en la direcció en què creix el teixit en el teler, i la trama és perpendicular a l'anterior (fig. 1.1-1). La calada és l'obertura formada en alçar-se una part dels fils de l'ordit i restar immòbils o abaixar-se els restants, per dintre de la qual és possible d'inserir la llançadora o la pinça d'un costat a l'altre del teler deixant-hi el fil de trama [Mark 1993; Jewe 2005; Maño 2006]



**FIGURA 1.1-1.** Esquema d'un teler de calada. La calada és l'obertura formada en alçar-se una part dels fils de l'ordit i restar immòbils o abaixar-se els restants, per dintre de la qual és possible d'inserir la llançadora d'un costat a l'altre del teler deixant-hi el fil de trama.

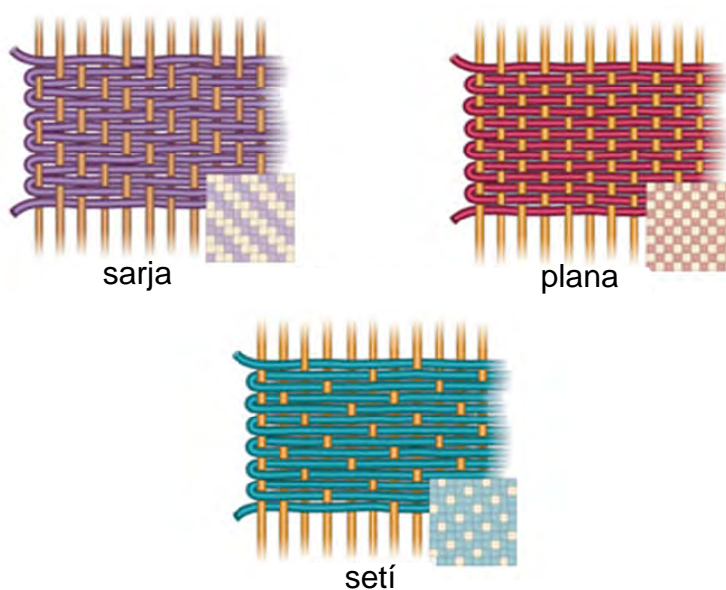
Amb aquesta simple idea del concepte de teixit podem definir, per a cada conjunt de fils, el terme conegut com a factor de cobertura,  $FC$ , el qual expressa quina fracció de l'àrea que ocupa el teixit està coberta per cada conjunt de fils. Així doncs, per a qualsevol teixit hi ha dos factors de cobertura, el d'ordit i el trama.

$$FC_i = \frac{\text{\`area coberta pels fils}_i}{\text{\`area ocupada pel teixit}}, \quad (1.1-1)$$

on el  $i = 1$  (per a l'ordit), 2 (per a la trama). De la mateixa manera, el  $FC$  total es defineix com l'àrea coberta per tots els fils dividida per l'àrea ocupada pel teixit

$$FC = \frac{\text{\`area coberta pels fils}}{\text{\`area ocupada pel teixit}}. \quad (1.1-2)$$

D'altra banda és interessant fer notar que, dels tres lligaments bàsics, (plana, sarja i setí), per a un espaiat de fils donat, la plana és el lligament que conté un nombre més gran d'encreuaments per unitat d'àrea <sup>[Horr 2000; Jewe 2005]</sup>. Els altres tipus de lligaments (sarja i setí) tenen menys interseccions que la plana i això fa que el lligament de plana proporcioni els  $FC$  més alts que, alhora, són els requerits per a les teles destinades a qualsevol tipus de protecció. Amb altres paraules, el lligament de plana és el que permet la fabricació dels teixits tèxtils més atapeïts possible.



**FIGURA 1.1-4.** Els tres lligaments bàsics.



F. T. Peirce (1937) va ser el primer a sistematitzar aquests conceptes i altres en el seu *The geometry of cloth structure* <sup>[Peir 1937]</sup>, particularitzant-ho per als teixits de cotó. El *FC* és un paràmetre bàsic de construcció del teixit tèxtil relacionat amb la seva funció final d'ús <sup>[Mila 2000, 2003]</sup>. L'eficiència del teixir, la qualitat de la tela <sup>[Seya 1993, 1994]</sup>, el confort termofisiològic de les vestimentes <sup>[Mila 2003]</sup>, la permeabilitat a l'aire <sup>[Olsa 2003]</sup>, la protecció contra la radiació ultraviolada <sup>[Alga 2004]</sup>, així com l'ombrejat i la insonorització d'interiors <sup>[Ashr 2005]</sup>, són algunes de les característiques fortament relacionades amb el *FC*. El *FC* és també una característica fonamental de multitud de teixits base utilitzats en un conjunt de disciplines de l'activitat humana altament dispers, especialment els que fan referència a la protecció. El fet que aquestes disciplines posin fortes demandes sobre les propietats de bon rendiment dels teixits fa que aquests últims hagin estat batejats com a teixits tècnics. Es tracta de materials tèxtils i productes fabricats fonamentalment pel seu rendiment tècnic i propietats funcionals més que no pas per les seves característiques decoratives i estètiques <sup>[McIn 1995]</sup>. Els avenços en els polímers, les fibres, els fils, la tecnologia química i la tecnologia del tissatge han encapçalat el desenvolupament de material per als teixits tècnics i, per això, aquests són reconeguts com una de les àrees més dinàmiques i prometedores per al futur de la indústria tèxtil <sup>[Horr 2000, MiTe 2010]</sup>: *Agrotech*, *Buildtech*, *Clothtech*, *Geotech*, *Homotech*, *Indutech*, *Meditech*, *Mobiltech*, *Oekotech*, *Packtech*, *Protech*, *Sportech*. A continuació, a fi de situar-nos, procedim a fer una breu descripció dels diferents àmbits dels teixits tècnics on el *FC* hi té un protagonisme rellevant pel que fa a la protecció i/o separació/filtratge:

*Agrotech* inclou productes tèxtils tècnics utilitzats en l'agricultura, l'horticultura (inclosa la floricultura), la pesca i la silvicultura (conreu dels boscos). Les aplicacions dels materials tèxtils tècnics en l'agricultura inclouen totes les activitats relacionades amb el cultiu i la seva recollida i els animals. Alguns dels productes tèxtils coberts per *Agrotech* són els següents: xarxes d'ombra, cobertes per a cultius, xarxes anticalamarsa, xarxes antiaïus, xarxes de pesca.

*Buildtech* comprèn els productes tèxtils utilitzats en la construcció d'edificis permanents i temporals, així com en les estructures arquitectòniques. Els següents productes pertanyen a *Buildtech*: membranes arquitectòniques, tendals de lona de cotó, tendals i marquesines, xarxes de bastides.

*Clothtech* és el segment dels teixits tècnics compost principalment pels components tèxtils utilitzats per a aplicacions específiques funcionals en peces de vestir i sabates. Aquests components són en gran part ocults com, per exemple, entreteles en punys i colls de camises. Teles com la roba de paraigües i certs teixits que incorporen funcionalitats tècniques específiques s'inclouen també en el segment de *Clothtech*.

El segment *Geotech* es compon de productes tèxtils tècnics utilitzats en aplicacions geotècniques corresponents al sòl, les roques, el terra, etc. Les principals funcions exercides pels productes *Geotech* són el confinament/separació, reforç, filtració i drenatge, i la protecció (talussos, etc).

*Hometech* és el segment dels materials tèxtils tècnics que comprèn els components tèxtils utilitzats en l'entorn domèstic/decoració d'interiors i mobles, catifes, la protecció contra el sol, els materials de coixí, protecció contra el foc, revestiments de parets i terres i filtres per a aspiradors. Aquests materials estan fets tant de fibres naturals com sintètiques. Els productes tèxtils coberts per *Hometech* són: persianes de roba, filtres de condicionament d'aire, filtres de roba per a aspiradores, tovalloletes no teixides, mosquiteres.

*Indutech* inclou productes tèxtils tècnics utilitzats en el sector manufacturer. Els productes tèxtils coberts per *Indutech* són els següents: cintes transportadores, teixits de paper, filtratge.

Els productes *Meditech* inclouen els materials tèxtils utilitzats en la higiene, la salut i la cura personal, així com en aplicacions quirúrgiques. Aquests productes estan disponibles en forma de teixits de calada, teixits de punt i no teixits, depenent de la seva àrea d'aplicació. Aquests materials tèxtils han estat dissenyats per a necessitats particulars i són adequats per a qualsevol aplicació quirúrgica i mèdica on una combinació de força, flexibilitat i a vegades humitat i permeabilitat a l'aire és requerida. Els productes tèxtils coberts per *Meditech* són, entre altres: apòsits quirúrgics, productes d'un sol ús, indumentària quirúrgica. Aquests productes eviten infeccions nosocomials, i la infecció creuada.

El segment de tèxtils tècnics *Mobiltech* s'utilitza en la construcció d'automòbils, ferrocarrils, vaixells, aviació i naus espacials. Els productes *Mobiltech* es poden classificar en dues grans categories: components visibles i components ocults. Els components visibles inclouen la tapisseria dels seients, catifes, reposacaps, airbags (fig. 1.1-2), etc. Els components ocults inclouen feltres d'aïllament, folres, etc.

*Ökotech* representa noves idees amb conceptes interessants sobre la protecció del medi ambient, l'eliminació de residus i el reciclatge. Els criteris principals per classificar els productes tèxtils dins d'aquesta categoria són: teixits ecològics i teles d'un sol ús i biodegradables.

*Packtech* inclou des de sacs sintètics utilitzats per a l'embalatge industrial fins a sacs de jute utilitzats per a l'envasament de grans alimentaris (mongeta seca, cigrons, lleties, blat de moro, etc.). El ventall de productes coberts per *Packtech* és el següent: bosses de gassa de volta, tela d'embolicar, sacs de jute i d'arpillera (incloent els sacs de jute del ram alimentari), bossetes d'infusions, etc.

*Protech* és un conjunt de materials tèxtils utilitzats en la fabricació de diverses vestimentes de protecció per a persones que treballen en entorns o bé perillosos o bé que no poden ser contaminats. Els teixits tècnics coberts per *Protech* són, entre altres: roba de protecció de la radiació, roba de protecció química o física (fig. 1.1-3), etc.

Finalment, el segment *Sportech* comprèn els productes tèxtils tècnics utilitzats en activitats esportives i recreatives, com ara vol i navegació esportiva, esports d'hivern i d'estiu i esports d'interior.



**FIGURA 1.1-2.** El control del FC en els airbags dels cotxes té un protagonisme rellevant.



**FIGURA 1.1-3:** Indumentària requerida a les sales blanques

## 1.2 MESURES DEL FACTOR DE COBERTURA I ALTRES PARÀMETRES RELACIONATS

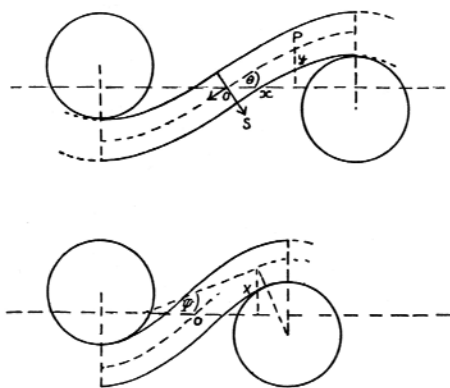
Moltes propietats dels teixits requereixen la valoració subjectiva per part de personal especialitzat <sup>[Behe 2004]</sup>. La reproducció de resultats per aquest mètode és sovint un problema, per més bona que sigui la formació del personal. Per diverses raons, l'enfocament subjectiu i la manipulació manual del procés de mesura donen resultats erràtics. En aquest context, el processament de la imatge digital i la seva anàlisi ofereixen l'alternativa més prometedora per al futur desenvolupament d'un mètode instrumental ràpid i fiable per a la mesura, l'anàlisi de nombrosos processos tèxtils i característiques del producte tèxtil.

La tecnologia del processament de la imatge, desenvolupada des dels anys 1960, és especialment útil en la fabricació i inspecció tèxtil, incloent-hi l'avaluació de la textura i l'examen de les característiques superficials del teixit. La captura d'imatges digitals i la seva anàlisi ofereixen aplicacions molt prometedores així com mesures molt ràpides, acurades i objectives d'un ampli ventall de propietats dels materials tèxtils. Aquestes propietats tèxtils són en gran part de caire geomètric.

D'entre les múltiples opcions que permeten l'aplicació de les tècniques de processament d'imatges per a l'anàlisi de teixits, s'ha optat per prendre el FC d'un teixit com a fil conductor d'aquesta memòria.

Existeixen diferents mètodes de càlcul del FC (tant total com parcial) basats en la geometria dels fils i els teixits [Peir 1937; Galc 1961; Cook 2002; Gabr 2009]. Aquests paràmetres, que admeten diferents modalitats d'interpretació, donen com a resultat valors que difereixen numèricament entre sí [Cast 1997] ja que integren altres característiques del teixit com ara: geometria del lligament, gruix dels fils, etc.

Alguns dels models teòrics que prediuen el valor del FC, modelitzen el tipus de deformació que experimenta el fil a l'hora de ser teixit per tal d'explicar la seva amplada final (fig. 1.2-1). En aquest cas, l'única dada certa de la què parteixen és el valor del diàmetre del fil abans de teixir, on l'aproximació a una forma cilíndrica és força escaient [Peir 1937]. L'amplada del fil teixit també és un dels paràmetres que sol ser mesurat manualment amb una retícula micromètrica acoblada a un comptafil, igual que la densitat lineal de fils o el seu invers, el període.



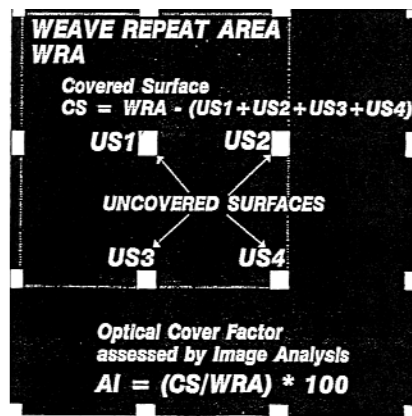
**FIGURA 1.2-1.** Secció transversal dels fils d'ordit per a dos valors diferents de període de trama [Peir 1937]

\*

Seguint, doncs, amb la tècnica del processament de la imatge digital, les primeres contribucions a la mesura del FC mitjançant la tècnica d'anàlisi de la imatge es deuen a

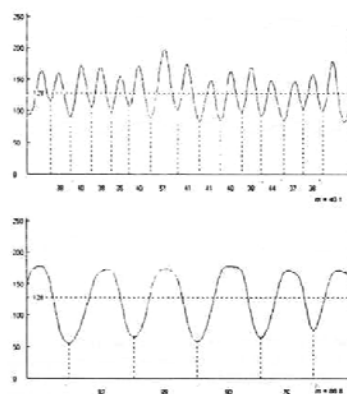
\* La qualitat dels gràfics d'aquest apartat és la que han permès els originals d'on han estat extrets.

de Castellar *et al.* (1997) <sup>[Cast 1997]</sup>. Van mesurar el *FC* de diferents teixits utilitzant un fotomicroscopi i il·luminació per transmissió. En aquest cas es va captar la imatge en color d'una mostra de teixit mitjançant un objectiu macro. En primer lloc van identificar de forma manual l'àrea corresponent al patró de repetició o lligament. A continuació, van mesurar, també manualment, en el patró de repetició del teixit (*WRA*) l'àrea corresponent a la zona no coberta pels fils (*US*), per determinar, posteriorment, el *FC* total en forma percentual, o sigui:  $FC = 100 * (WRA - US) / WRA$  (fig. 1.2-2). Pel fet que els contorns dels forats no són ni rectes ni abruptes (en no tractar-se d'una imatge binària) la dificultat del càlcul de l'àrea ocupada pels forats és gran, i el mateix passa amb les vores del patró de repetició. Van detectar que la tècnica de l'anàlisi de la imatge proporcionava valors de cobertura més alts que els que predeien diferents autors i sistemes tradicionals basats en la geometria del fil i del lligament.



**FIGURA 1.2-2.** Esquema del patró de repetició utilitzat per al càlcul del *FC*. Aquest patró conté quatre forats l'àrea dels quals es sotreu de l'àrea total ocupada pel patró <sup>[Cast 1997]</sup>.

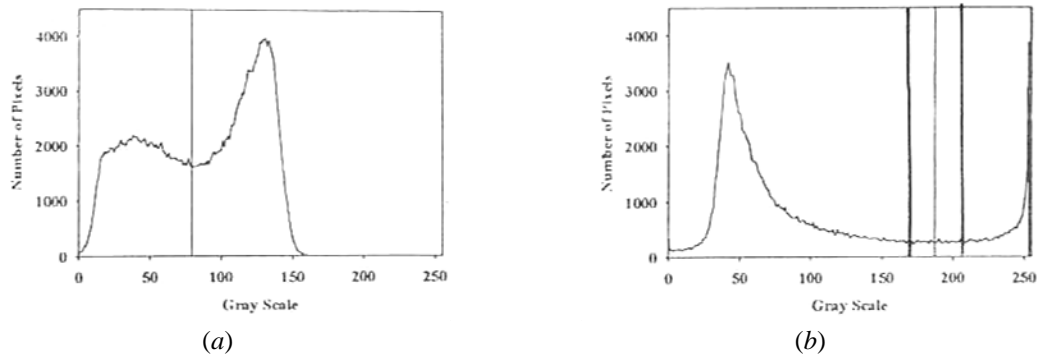
Posteriorment, Kang (2001) <sup>[Kang 2001]</sup> fou el primer en mesurar el *FC* total d'un teixit a partir de binaritzar una imatge captada per transmissió. Va buscar el seu llindar a partir del valor mig del fons de captació (de fet, s'entén que aquest és el nivell de gris pertanyent als forats). No indica si el valor de l'exposició era el mateix per a totes les preses fotogràfiques o no, cosa que, en el segon cas, faria que el valor del llindar fos diferent per a cada imatge. D'aquesta manera, els píxels que presentaven un nivell de gris inferior al llindar, eren els pertanyents als fils i, un cop comptabilitzats, calculà el *FC* total. A partir de perfils promig de la imatge original del teixit, en les direccions d'ordit i trama, (fig. 1.2-3) determinà els dos períodes  $p_i$  i els dos diàmetres  $d_i$  calculant-los a mitja alçada. Aquest mètode presentava inconvenients per al cas de teixits amb *FC* elevats on, en estar els fils molt junts, no hi ha gairebé espai entre ells. També va estimar el valor del biaix del teixit, obtenint perfils promig per a les orientacions entre 0 i 180° determinà les dues direccions per a les que el nivell de gris dels mínims dels perfils promig era mínim.



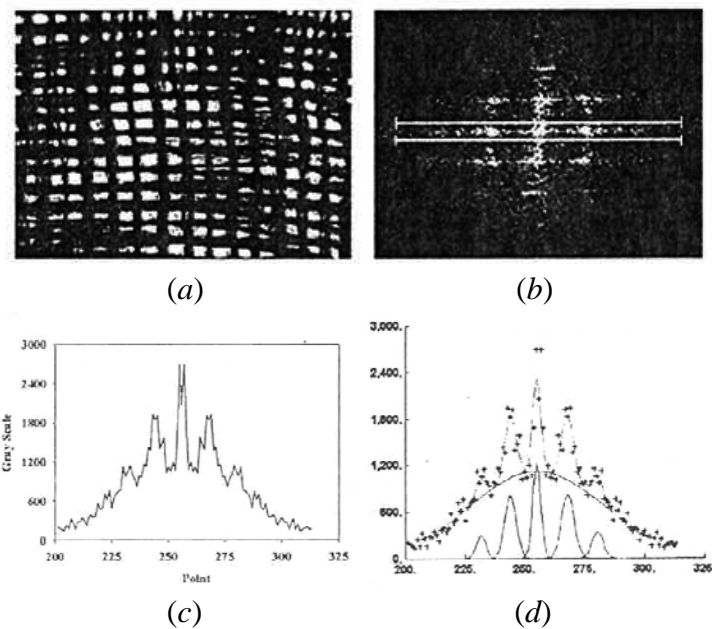
**FIGURA 1.2-3.** Perfils promig de la imatge original del teixit en les direccions d'ordit i trama utilitzats per al càlcul de  $p_i$  i  $d_i$  (a mitja altura) [Kang 2001].

Simultàniament, Mikolajczyk (2001) [Miko 2001] determinà el FC de mostres de punt de tres maneres diferents: 1) teòricament, a partir de la geometria de la mostra, 2) per permeabilitat a l'aire i 3) a partir d'una imatge digital del teixit. Va captar les imatges per reflexió (fils blancs, forats negres) amb una càmera CCD de color amb un zoom acoblat. La imatge obtinguda era vista a través d'una TV (referència) i d'un monitor d'un ordinador que contenia un software comercial (STUDIO TEXTIL) que permetia lllindaritzar la imatge. El llindar escollit era el que feia que, visualment, la imatge binaritzada presentés els mateixos contorns que la de referència. Concloué que el mètode d'anàlisi de la imatge per avaluar el FC tenia avantatges importants sobre el de permeabilitat a l'aire: donava els errors de mesura més petits en ser comparat amb el valor calculat teòricament i en destacava la seva no invasibilitat.

Cardamone *et al.* (2002) [Card 2002] van captar imatges dels teixits per reflexió i transmissió. Treballaven amb imatges de teles molt poc atapeïdes, de manera que el seu histograma era sempre bimodal: un mode pertanyia als fils i l'altre als forats. El criteri per a l'elecció del llindar era: si la vall entre els modes tenia un mínim marcat (fig. 1.2-4(a)), agafaven aquest nivell de gris com a llindar; si els modes estaven molt separats per una vall quasi plana (cosa que ells definien com a *plateau*), el llindar era pres com el punt mig entre els extrems del *plateau*, però no especificaven amb quin criteri l'afitaven (fig. 1.2-4(b)). En aquest mateix treball calculaven l'espectre de potències,  $EP$ , de la transformada de Fourier,  $TF$ , de la imatge del teixit i determinaven el biaix (manualment) i el període. A partir del perfil de la banda que contenia les freqüències pertanyents a l'ordit, per un costat, i a la trama, per l'altre, determinaven el valor de les freqüències dels fils ( $1/p_i$ ) després d'ajustar una gaussiana a cada harmònic del perfil (figura 1.2-5). El gruix del fil el determinaven a partir de perfils de línia, transversals a la direcció desitjada, realitzats sobre la imatge del teixit. L'amplada a mitja alçada era el criteri emprat per a aquest càlcul. Aquesta mesura tampoc no és aplicable a teixits atapeïts.



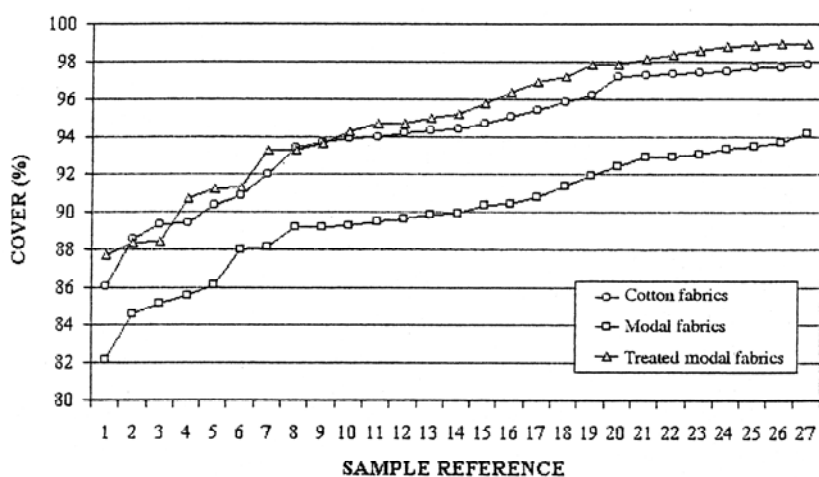
**FIGURA 1.2-4.** Exemple dels dos tipus d'histogrames descrits per Cardamone *et al.* (2002) <sup>[Card 2002]</sup>. (a) Histograma bimodal: el llindar era el mínim que presentava la vall entre els modes. (b) Histograma bimodal on el mínim de la vall era incert: s'afitava el *plateau* i el llindar era el punt mig entre els seus extrems.



**FIGURA 1.2-5.** Manera de determinar el període i l'amplada del fil a partir de la banda horitzontal emmarcada al *PS*. (a) Imatge del teixit. (b) Vista de l'*EP* assenyalant les línies utilitzades per definir el perfil horitzontal; (c) Perfil d'intensitats de la secció horitzontal (b). (d) Mètode per trobar l'espai entre fils a partir d'ajustar per gaussianes els pics de l'*EP* de la *TF* <sup>[Card 2002]</sup>.

Abou-Iiana *et al.* (2003) <sup>[Abou 2003]</sup> també van determinar el *FC* d'imatges de teixits de punt captades amb càmera CCD, per reflexió i transmissió. Van comparar els seus resultats amb els calculats a partir de models teòrics i van obtenir una correlació més alta amb els factors de cobertura trobats per transmissió. El llindar utilitzat per segmentar les imatges captades per transmissió era el nivell de gris corresponent a la fibra més clara, sense especificar el criteri de decisió de la fibra que presentava el nivell de gris més alt.

Algava *et al.* (2004) <sup>[Alga 2004]</sup> de l'INTEXTER (UPC), van determinar el FC llinaritzant la imatge del teixit en nivells de gris. Les imatges foren captades per transmissió amb un fotomicroscopi i analitzades amb el software comercial *Videoplan*. Van aplicar el mateix llinar a totes les imatges, independentment de si era el més òptim per a cadascuna d'elles. Van comparar els factors de cobertura obtinguts a partir de l'anàlisi de la imatge amb els determinats de forma teòrica per diferents autors (fig. 1.2-6). De manera general, l'anàlisi de la imatge proporcionà valors de cobertura més grans que els calculats a partir de les fórmules teòriques.



**FIGURA 1.2-6.** Valor dels FC de les 81 mostres analitzades amb la tècnica de l'anàlisi de la imatge <sup>[Alga 2004]</sup>.

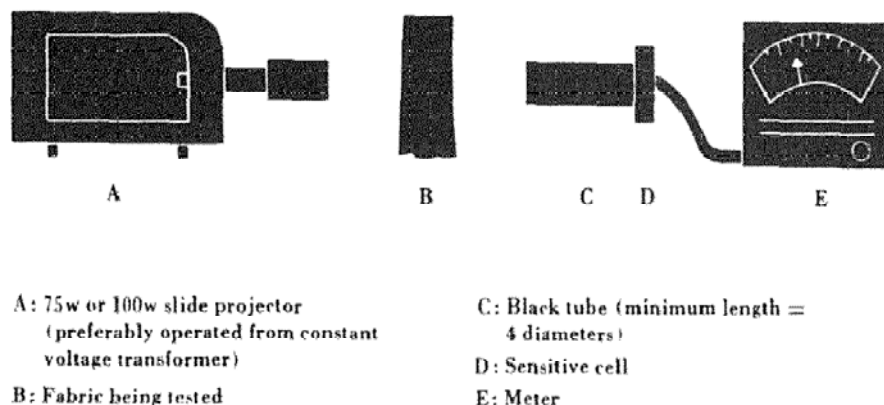
Com a exemple de la utilització de tècniques difractomètriques en teixits, a fi de determinar diverses característiques geomètriques, hi ha el treball de Meshcheryakova *et al.* (2004) <sup>[Mesh 2004]</sup>. En ell van analitzar, similarment com nosaltres, paràmetres com el període, l'amplada dels fils i el biaix en teles amb diferents tipus de lligadura. Adaptaven l'equació de Fraunhofer per a cada tipus de lligament, introduint-hi els paràmetres geomètrics de l'element de repetició. Finalment, els difractogrames eren captats amb una càmera CCD i processats amb un software propi. Afirmaven que no s'apreciaven diferències significatives en les mesures fetes per la tècnica difractiva o la del processament de la imatge del teixit, però no en donaven cap resultat. Tampoc van comentar en absolut el procés seguit en la tècnica de processament de la imatge. L'ús de la difracció per a la caracterització de teixits tèxtils ja va ser proposat per Escofet (1999) <sup>[Esco 1999]</sup> en la seva tesi doctoral, i es va desestimar per problemes de saturació del sensor de la càmera CCD i la complexitat del muntatge experimental, optant per la via del processament de la imatge digital del teixit.

Guangbiao Xu (2005) <sup>[Xu 2005]</sup> realitzà un estudi teòric a partir de la fórmula de Hagen-Poiseuille per intentar establir l'equació que relacionés la permeabilitat dels forats i l'estructura del teixit. La predicció de l'equació va ser desenvolupada focalitzant-se en la



permeabilitat dels espais intersticials i el *FC* total calculat a partir de l'amplada dels fils i del seu període (no esmenta com calcula aquest dos paràmetres). En l'equació desenvolupada es constata que la permeabilitat dels forats i el *FC* eren els dos factors principals que determinaven la permeabilitat del teixit.

Mentre que en l'àmbit de la protecció es parla del *FC* d'un teixit, en l'àmbit de l'arquitectura, pel que fa a l'ombregat d'interiors (indoor shading), es parla del concepte complementari és a dir, del factor d'obertura del teixit, o obertura,  $1 - FC$ . La manera de determinar l'obertura de forma experimental era a partir de la mesura de la transmitància directa del cortinatge (roba, malles, lames, etc) segons l'esquema de la fig. 1.2-7 [Keye 1967]. Calia ajustar la distància A-D (entre el projector i el mesurador) per tal que el voltímetre E, sense estar la mostra present, marqués 100, tot assegurant que la llum estigués distribuïda uniformement en tota l'extensió del detector D. Com que la llum que travessés la fibra seria escampada en totes direccions, aquesta estaria minimitzada pel tub col·limador, arribant al sensor només la llum que hagués travessat la tela de manera directa (bàsicament pels forats). A aquest efecte, s'havia de col·locar la mostra de tela B prop de l'extrem del tub C. La lectura del voltímetre era el percentatge de l'àrea oberta del cortinatge. També indicaven que es procurés que la imatge del filament del projector no es formés sobre el detector.



**FIGURA 1.2-7.** Dispositiu per a la mesura de del factor d'obertura d'un teixit. El tub col·limador eliminava la radiació difosa [Keye 1967].

## 1.3 PROPÒSIT I ORGANITZACIÓ DE LA MEMÒRIA

Els propòsits d'aquesta Tesi Doctoral són:

- Trobar un mètode objectiu no invasiu i automàtic, basat en el processament d'imatges digitals, per mesurar el FC que coincideixi amb el criteri visual, i que permeti la determinació dels FC parcials i les amplades dels fils teixits.
- Analitzar la relació entre el FC i la reflectància espectral d'un teixit.

Ambdós aspectes constitueixen les principals contribucions originals d'aquesta Tesi Doctoral que ha estat estructurada de la següent manera:

- En el **Capítol 1** es defineix el FC en els teixits de calada i es citen la seva importància i els camps d'aplicació. També es fa una revisió de les diferents maneres de determinar-lo, fent especial incís en les que utilitzen la tècnica del processament de la imatge digital. Alhora, també es comenta l'organització de la memòria.
- El **Capítol 2** tracta de la mesura del FC total i la seva relació amb el criteri visual. S'argumenta el sistema de captació emprat, les característiques de les imatges obtingudes amb ell i el preprocessament que se'ls ha de aplicar per tal de preparar-les per a ser emprades en la determinació del FC. A continuació es duu a terme una revisió de la transformada de Fourier aplicada als teixits de calada i la seva aplicació a la imatge digital. Mitjançant l'espectre de potències s'aconsegueix el coneixement dels períodes dels fils, cosa que permet retallar la imatge contenint un nombre enter de períodes a fi d'una determinació exacta del FC. S'analitzen els FC determinats amb diferents algorismes de segmentació clàssics i es comparen amb els FC promig determinats per un grup d'observadors experts. Com que cap d'ells satisfà el criteri visual, es descriu el disseny d'un nou algorisme de segmentació que dona uns FC amb una alta correlació amb els obtinguts visualment tenint en compte la llei de Stevens.
- El **Capítol 3** versa sobre els FC parcials. Es planteja la problemàtica de les imatges de teixits que no tenen els fils paral·lels a les vores de la imatge. Les orientacions dels màxims freqüencials s'analitzen aplicant la transformada de Radon a l'espectre de potències de la transformada de Fourier. Així s'automatitza la localització dels primers harmònics que conduiran a la determinació dels períodes dels fils. El coneixement de les orientacions en què es troben els màxims freqüencials possibilita el disseny d'uns filtres que, aplicats a la transformada de Fourier de la imatge del teixit, permeten extraure els fils d'ordit i de trama. Amb aquestes imatges filtrades, un cop llinaritzades, s'aconsegueixen les primeres

estimacions dels *FC* parcials que s'acaben d'ajustar per tal que acompleixin el *FC* total. El diàmetre o amplada dels fils teixits s'assoleix a partir de la imatge del teixit mancada de vellositat. Finalment es comparen els diàmetres dels fils amb les característiques nominals dels fils i amb la mesura manual dels mateixos.

- El **Capítol 4**, força diferent del 2 i el 3, analitza la relació entre el *FC* total i la reflectància espectral del teixit. Es fa una revisió del model de transferència radiant de doble flux de Kubelka-Munk i se'n comenten les seves aplicacions. S'estableix la relació conceptual entre el *FC* i la reflectància del teixit. A continuació, es modelitza la reflectància d'una capa de teixit de color uniforme i també la d'una pila creixent de capes del mateix teixit. A partir de l'anterior, es formula el model presentat. Posteriorment, es descriu el dispositiu experimental, la presa de mesures i les característiques de les mostres analitzades. Finalment, es duu a terme la descripció i discussió dels resultats obtinguts.
- El **Capítol 5** recull les conclusions finals d'aquest treball.
- El **Capítol 6** inclou les referències citades en aquesta Tesi Doctoral.
- El **Capítol 7** conté cinc annexos, un primer amb les imatges i resultats obtinguts amb les mostres emprades als Capítols 2 i 3. Els annexos II i III fan referència a desenvolupaments matemàtics del Capítol 4. L'annex 4 recull les imatges i gràfics de reflectància i *FC* de les mostres analitzades al Capítol 4. I, finalment, l'annex V recull les publicacions relacionades amb aquesta Tesi Doctoral.



## 2. MESURA DEL FACTOR DE COBERTURA TOTAL. SEGMENTACIÓ I PERCEPCIÓ

Al capítol 1 s'ha definit el  $FC$  i s'ha establert la manera de mesurar-lo a partir de la llindarització d'una imatge digital. Ara, en el capítol actual, es presenta, en primer lloc, el sistema de captació de la imatge, on es descriu amb detall el sistema utilitzat i el procés de captació, a fi d'obtenir unes imatges amb els nivells de gris adequats. Amb l'objectiu d'obtenir un valor de mesura el més acurat possible, es retalla la imatge de manera que el resultat contingui el màxim nombre enter de períodes en les direccions d'ordit i de trama. Per aconseguir-ho es treballa a l'espai de Fourier, on l'anàlisi dels harmònics corresponents que mostra l'espectre de potències proporciona els valors de les mides d'aquesta imatge sense períodes fraccionaris.

A fi de fer eficient el mètode de llindarització, convé que la imatge estigui uniformement il·luminada. En el nostre cas, la imatge obtinguda presenta un decaïment de la il·luminació del centre cap a les vores. Per tal de corregir aquesta anomalia, s'ha anivellat la il·luminació de la imatge mitjançant un filtratge a l'espai de Fourier.

Un cop la imatge ha estat preprocessada segons les etapes descrites anteriorment, es passa a la seva llindarització. Aquesta s'ha fet amb dos procediments diferents. En primer lloc, de manera visual, per obtenir els valors de referència que hauran de validar el mètode. A continuació es descriuen diferents mètodes habituals de segmentació automàtica i s'analitza la idoneïtat per a l'aplicació que ens interessa per, finalment, descriure un nou mètode de segmentació que es valida per correlació amb els valors determinats visualment. Les diferències sistemàtiques entre la magnitud de l'estímul i la magnitud percebuda inherents a la llindarització visual, es contempen en el moment de comparar amb els resultats objectius mitjançant la llei deguda al psicòleg S. S. Stevens la qual relaciona un estímul físic amb la intensitat percebuda. En aquest cas, l'estímul és l'àrea oberta del teixit, els forats. Dels diferents mètodes de segmentació automàtica emprats per a la determinació del factor d'obertura del teixit, el que presenta una correlació més alta amb els valors determinats visualment, seguint la llei de Stevens és, com veurem, el proposat en aquesta memòria.

## 2.1 ENTORN EXPERIMENTAL

### 2.1.1 SISTEMA DE CAPTACIÓ D'IMATGES

El càlcul del *FC* requereix disposar d'un sistema de captació amb augment suficient que permeti una bona diferenciació entre els forats i els fils. S'ha optat per la utilització d'un microscopi, *Olympus CX 40* amb un objectiu de 4x, que dona un camp d'uns 2.6 x 3.4 mm (fig. 2.2.2-2(a)), amb una càmera CCD *Olympus Camedia C 3030 Zoom* acoblada, i unes dimensions de sensor de 5.32 x 7.18 mm. L'augment aconseguit amb el conjunt és aproximadament 2x. El sistema d'il·luminació és per transmissió (fig. 2.1.1-1).

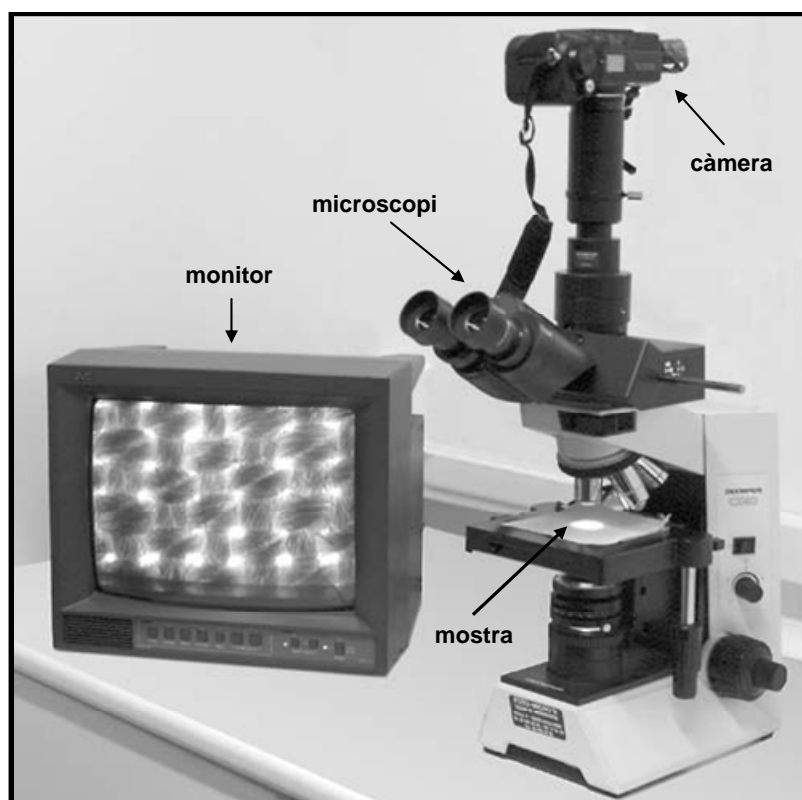


FIGURA 2.1.1-1. Conjunt experimental per a la captació de les imatges dels teixits.

Com que l'ideal és una il·luminació el més uniforme possible, s'ha treballat amb el diafragma de camp i el d'obertura del microscopi oberts al màxim. El potenciòmetre que regula la intensitat de la bombeta ha estat col·locat en la posició màxima. El condensador del sistema d'il·luminació s'ha fixat a la posició inferior, a fi de tenir el feix de llum el

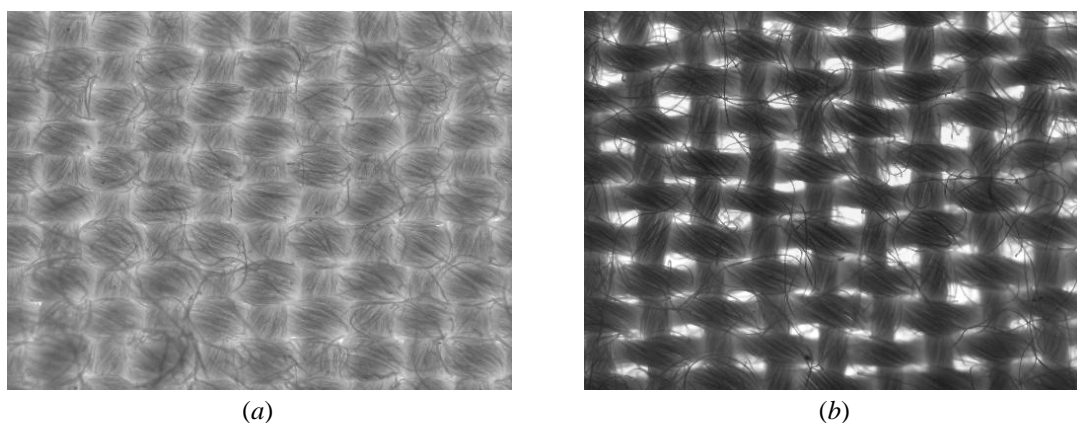
més difós possible. Les mostres han estat recolzades sobre dos portaobjectes esmerilats per tal de difondre la llum encara més.

La càmera conté dos tipus de fotòmetres: puntual i matricial. S'ha utilitzat el mode matricial perquè el que volíem era una lectura fotomètrica integrada. Si s'utilitza la mateixa exposició (la mateixa obertura i el mateix temps) per a totes les mostres, pot passar que per a unes sigui adequada i per a les altres no <sup>[Ray 2000]</sup>. En cap de les referències consultades sobre el tema del  $FC$  <sup>[Xu 1996; Miko 2001; Card 2002; Abou 2003]</sup> es descriuen els criteris emprats per a l'elecció de l'exposició fotogràfica adequada per a la captació de les imatges. Per exemple: l'exposició necessària per a una mostra atapeïda, o amb un  $FC$  alt, pot saturar el  $CCD$  en el cas d'utilitzar-la per a una mostra no atapeïda, o amb un  $FC$  baix. Sota condicions en les que un  $CCD$  està exposat a una intensitat de llum molt alta, és possible exhaurir la capacitat d'emmagatzematge dels pous del  $CCD$ , condició coneguda com a *blooming* <sup>[Abra 2006]</sup>. Quan això succeeix, un excés de càrrega vessa cap a pous de fotodiodes adjacents, donant com a resultat una imatge corrompuda prop del lloc del *blooming*. En el cas d'imatges de teixits captades per transmissió, on el forat és clar i el fil fosc, es perd part de la informació de les regions fosques de l'escena, o sigui, els fils. Així doncs, el  $FC$  calculat a partir d'una imatge que ha sofert *blooming* és inferior al real.

Per tant, un plantejament que pot evitar el *blooming* en totes les imatges de les mostres, seria exposar per a les llums (forats), prescindint que a les ombres (fils) es perdi informació (textura). Convé tenir ben perfilat el perímetre dels forats, sense afectar els píxels pertanyents als fils. Aleshores, per a cada mostra, les imatges captades presentarien una exposició correcta per a les llums (o sigui, sense saturar els píxels de les parts clares de la imatge) i,

- a) les imatges de les mostres amb  $FC$  alt presentarien una sobreexposició lleugera per als fils (fils clars) (fig. 2.1.1-2(a)), mentre que,
- b) les imatges de les mostres amb  $FC$  baix presentarien subexposició per als fils (fils foscos) (fig. 2.1.1-2(b)).

El mètode d'anàlisi a desenvolupar hauria de ser robust davant aquesta variabilitat de mostres de teixit, assegurant així que en cap imatge no es saturen els píxels de les zones clares de la imatge, independentment del  $FC$  que tingui.



**FIGURA 2.1.1-2.** Exemple de l'exposició utilitzada. (a) Mostra sobreexposada. (b) Mostra subexposada.

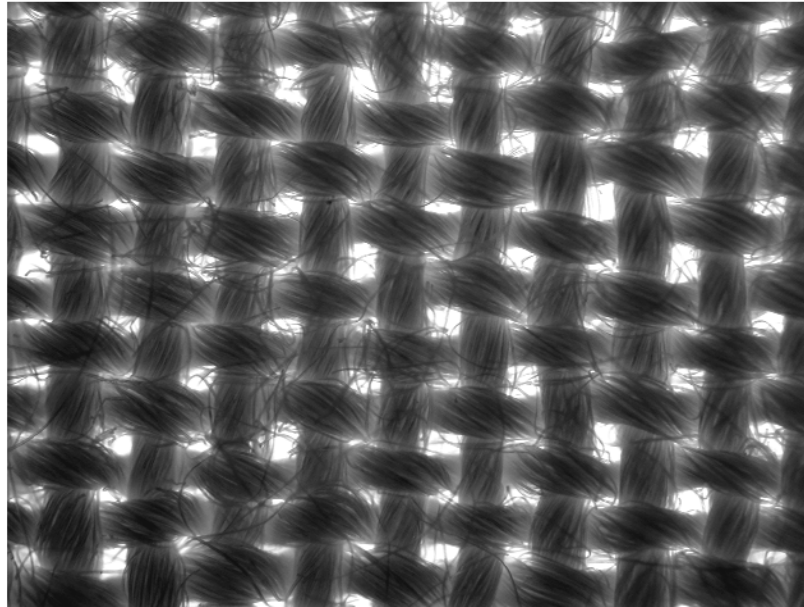
Aquesta manera de captar les imatges, evitant la saturació, resulta un element clau en l'algorisme per al càlcul del FC. La idea és classificar els píxels en dues categories: els que corresponen a l'àrea coberta, per un cantó, i els que corresponen a l'àrea oberta, per l'altre. En aquest procés de classificació, el referent dels píxels corresponents a l'àrea oberta serà precisament la intensitat màxima.

## **2.1.2 CARACTERÍSTIQUES DE LES IMATGES CAPTADES**

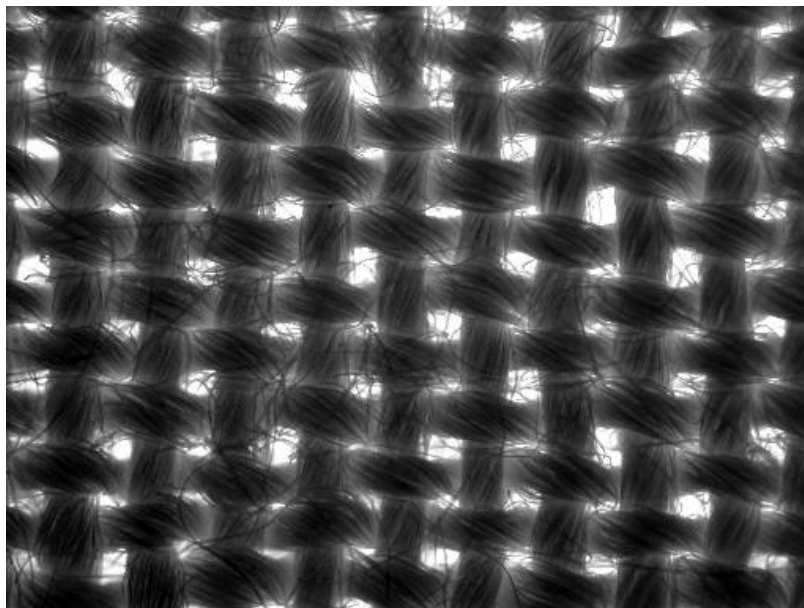
Les imatges captades tenen una resolució de 1536 x 2048 píxels, són en color amb 8 bits per canal i format JPEG. D'una banda, com que el color no aporta cap informació rellevant per al càlcul del FC, les imatges han estat convertides a nivells de gris amb la funció *rgb2gray* del Matlab. Aquesta consisteix a prescindir de la informació del to i la saturació i tenir en compte el valor triestímul Y, o sigui, la luminància, segons la suma ponderada dels tres canals:  $0.2989 \cdot R + 0.5870 \cdot G + 0.1140 \cdot B$ . D'altra banda, per agilitzar el processament de les imatges amb Matlab, s'ha reduït la seva resolució 16 vegades amb la comanda *imresize*, passant a treballar amb imatges d'una resolució de 384 x 512 píxels en el seu lloc.  $B = \text{imresize}(A, \text{scale})$  retorna una imatge B que és *scale* vegades la mida d'A, utilitzant el mètode d'interpolació bicúbica i el filtre antialiasing.

Recordem que el mínim detall d'interès per a la mesura del FC és la mida de les fibres que conformen els fils i que, mentre que en l'operació de reducció de resolució no es perdi aquesta informació, el càlcul del FC serà indiferent fer-lo a partir de la imatge amb alta resolució o amb la de baixa. La fig. 2.1.2-1 pretén mostrar aquest fet. La imatge de la fig. 2.1.2-1(a) té una resolució de 1536 x 2048 píxels mentre que la de la fig. 2.1.2-1(b) és de 384 x 512 píxels. Ambdues presenten la mateixa mida, fet que permet comprovar que la pèrdua de detalls referents a les fibres dels fils és quasi imperceptible pel que fa al càlcul del FC.



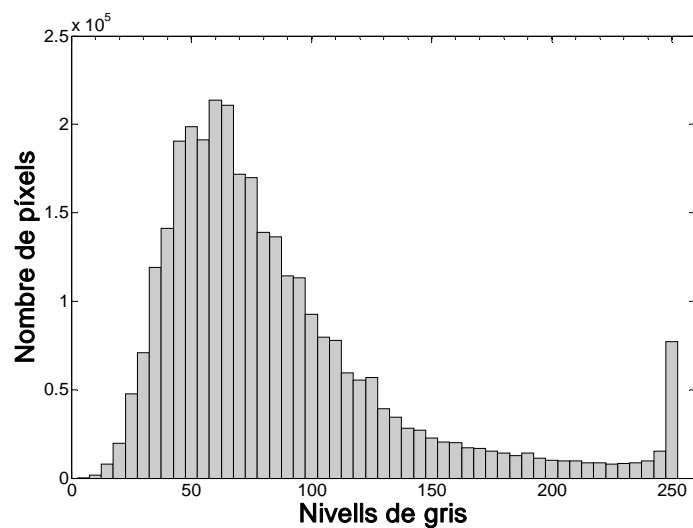


(a)

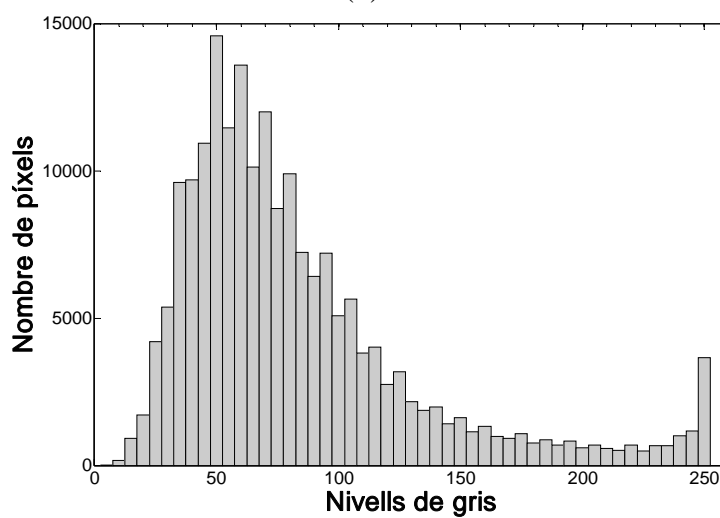


(b)

**FIGURA 2.1.2-1.** (a) Imatge d'un teixit en alta resolució. (b) Imatge del mateix teixit amb una resolució 16 vegades menor.



(a)



(b)

**FIGURA 2.1.2-2.** (a) Histograma de la fig. 2.1.2-1(a). (b) Histograma de la fig. 2.1.2-1(b).

Les fig. 2.1.2-2(a) i 2.1.2-2(b) mostren, respectivament, els histogrames de les imatges de les fig. 2.1.2-1(a) i 2.1.2-1(b) tot posant de manifest la similitud existent entre ells llevat del canvi d'escala en el seu eix vertical, fruit de la diferent resolució de les imatges a les quals pertanyen.

### 2.1.3 CARACTERÍSTIQUES DE LES MOSTRES ANALITZADES

Les mostres analitzades pertanyen a tres conjunts de teixits tèxtils la composició i estructura dels quals és apropiada per a vestimentes d'estiu (densitats superficials de 90-250 g/m<sup>2</sup>). Cada conjunt ha estat fabricat amb diferents tipus de fibres de cel·lulosa: cotó, modal i modal tractat o modalsun (modal que incorpora un absorbent de l'ultraviolat). Els tres conjunts van ser teixits amb lligament de plana (fig. 1.1-4), combinant tres nombres de diàmetre de fil d'ordit i de trama diferents i tres freqüències de trama diferents (taula 2.1.3-1). Cadascun dels tres conjunts de teixits està compost per 27 mostres que cobreixen un rang de valors de *FC* entre més de 0.9 i fins gairebé 1.

Especificacions de les mostres				
FIBRA	NÚMERO DE FIL ( <i>Tex</i> )		FREQUÈNCIA FILS (fils/cm)	
	Ordit	Trama	Ordit	Trama
Cotó	14, 20, 25	14, 20, 25	38	23, 25, 27
Modal	14, 20, 25	14, 20, 25	38	23, 25, 27
Modalsun	14, 20, 29	14, 20, 29	38	23, 25, 27

TAULA 2.1.3-1. Especificacions de manufactura de les mostres de teixit utilitzades en aquest treball.

## 2.2 LA TRANSFORMADA DE FOURIER D'UN TEIXIT TÈXIL. INTERPRETACIÓ

Per determinar la regió de la imatge que ens servirà per al càlcul del *FC* total s'analitza a fons l'estructura periòdica del teixit. La transformada de Fourier (*TF*) resulta ser l'eina adequada per a aquesta tasca <sup>[Xu 1996; Mila 2000; Lach 2003; Lach 2005]</sup>.

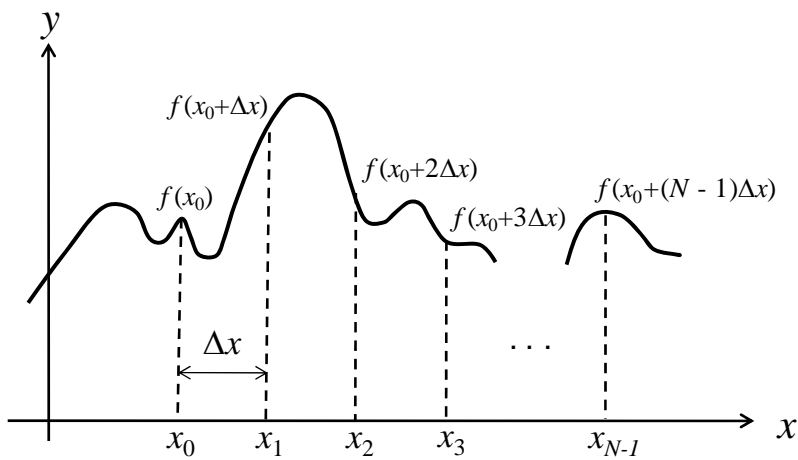
### 2.2.1 LA TRANSFORMADA DE FOURIER DISCRETA I LA IMATGE DIGITAL

Suposem que mostregem una funció contínua  $f(x)$  de la següent manera (fig. 2.2.1-1)

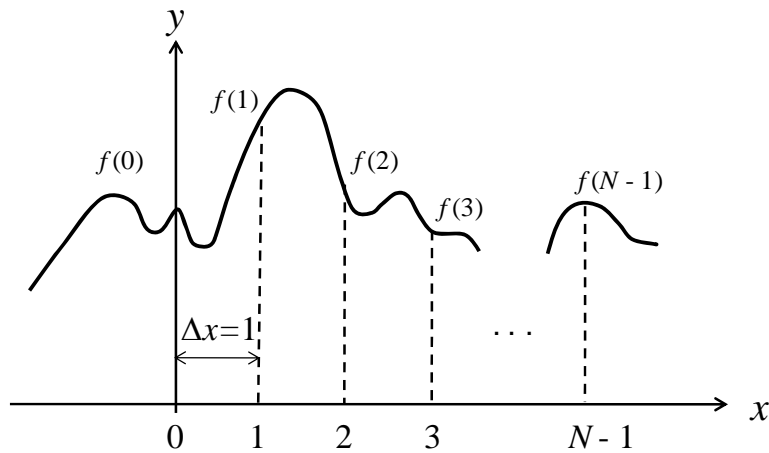
$$\{f(x_0), f(x_0 + \Delta x), f(x_0 + 2\Delta x), \dots, f(x_0 + [N - 1]\Delta x)\}, \quad (2.2.1-1)$$

agafant  $N$  mostres separades entre elles  $\Delta x$ , amb  $f(x) = f(x_0 + x \cdot \Delta x)$  on ara  $x$  agafa els valors discrets  $0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

Per calcular la  $TF$  discreta es desplaça, però, l'origen de l'eix d'abscisses i es fa un canvi d'escala segons la fig. 2.2.1-2. Ara doncs, la successió (2.2.1-1) adopta la forma  $\{f(0), f(1), f(2), \dots, f(N - 1)\}$  i denota un conjunt d' $N$  mostres uniformement espaiades de la corresponent funció contínua <sup>[Gonz 1993]</sup>.



**FIGURA 2.2.1-1.** Mostreig d'una funció contínua.



**FIGURA 2.2.1-2.** Desplaçament de l'origen de coordenades de l'eix d'abscisses de la fig. 2.2.1-1

La transformada de Fourier (*TF*) discreta de la successió anterior ve definida per:

$$TF(f(x)) = F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-j2\pi ux/N] \quad (2.2.1-2)$$

per a  $u = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

Es defineix la transformada de Fourier inversa ( $TF^{-1}$ ) com:

$$TF^{-1}(F(u)) = f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[j2\pi ux/N] \quad (2.2.1-3)$$

per a  $x = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

Els valors  $u = 0, 1, 2, \dots, N - 1$  en la *TF* discreta (eq. 2.2.1-2) corresponen als valors de la transformada contínua en els valors  $0, \Delta u, 2\Delta u, \dots, (N - 1) \Delta u$ . En altres paraules,  $F(u)$  representa  $F(u\Delta u)$ . Aquesta notació és similar a la utilitzada per a la  $f(x)$  discreta, a diferència que les mostres de  $F(u)$  comencen a l'origen de l'eix de freqüències. Els termes  $\Delta u$  i  $\Delta x$  estan relacionats per l'expressió

$$\Delta u = \frac{1}{N \Delta x}. \quad (2.2.1-4)$$

En el cas de dues variables, com seria el cas d'una imatge en nivells de gris, la *TF* discreta és

$$TF(f(x, y)) = F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux/M + vy/N)] \quad (2.2.1-5)$$

per a  $u = 0, 1, 2, \dots, M - 1, v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ , i la *TF* inversa és

$$TF^{-1}(F(u, v)) = f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp[j2\pi(ux/M + vy/N)] \quad (2.2.1-6)$$

per a  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  i  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

El mostreig d'una funció contínua té lloc ara en una graella amb divisions d'amplada  $\Delta x$  i  $\Delta y$  en els eixos  $x$  i  $y$  respectivament. De la mateixa manera que en el cas unidimensional, la funció discreta  $f(x, y)$  representa el mostreig de la funció  $f(x_0 + x\Delta x, y_0 + y\Delta y)$  per a  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  i  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ . De forma similar passa per a  $F(u, v)$ . Els períodes de mostreig en els dominis espacial i freqüencial estan relacionats per

$$\Delta u = \frac{1}{M \Delta x} \quad (2.2.1-7)$$

i

$$\Delta v = \frac{1}{N \Delta y}. \quad (2.2.1-8)$$

En el cas d'una imatge digital en nivells de gris, la funció  $f(x,y)$  representa la imatge on, per a cada punt  $(x, y)$  del domini espacial, es defineix un valor de gris. En el nostre cas de 8 bits o 256 nivells.

La  $TF$  de la funció anterior representa la imatge en el domini de les freqüències on, per a cada punt  $(u, v)$  del domini freqüencial, o de Fourier, es defineix una amplitud complexa que caracteritza la funció  $f(x,y)$  en aquest domini.

Es defineix l'espectre de potències,  $EP$ , de la funció  $f(x,y)$  com el mòdul al quadrat de la  $TF$ :

$$EP(u, v) = |TF(f(x, y))|^2 = |F(u, v)|^2. \quad (2.2.1-9)$$

L' $EP$ , per ser una funció real, permet visualitzar el pes de les freqüències contingudes en la imatge.

La  $TF$  permet realitzar el filtratge de la imatge  $f(x,y)$  en el domini freqüencial. Per a això només cal multiplicar la  $TF$  pel filtre adequat,  $H(u,v)$ . La imatge filtrada  $g(x,y)$  s'obté mitjançant la  $TF$  inversa de la forma:

$$g(x, y) = TF^{-1}(F(u, v) \cdot H(u, v)). \quad (2.2.1-10)$$

## 2.2.2 FREQUÈNCIES I PERÍODES D'ORDIT I DE TRAMA

S'anomena *lligament* la llei o manera ordenada i periòdica d'entrellaçar-se els fils amb les passades. La presència d'aquesta periodicitat en els teixits de calada fa que la transformada de Fourier (*TF*) esdevingui una potent eina per al seu estudi. L'espectre de potències (*EP*) de la *TF* d'un teixit és una rica font d'informació estructural del mateix [Xu 1996; Esco 1999; Kang 2001; Esco 2001; Rall 2003].

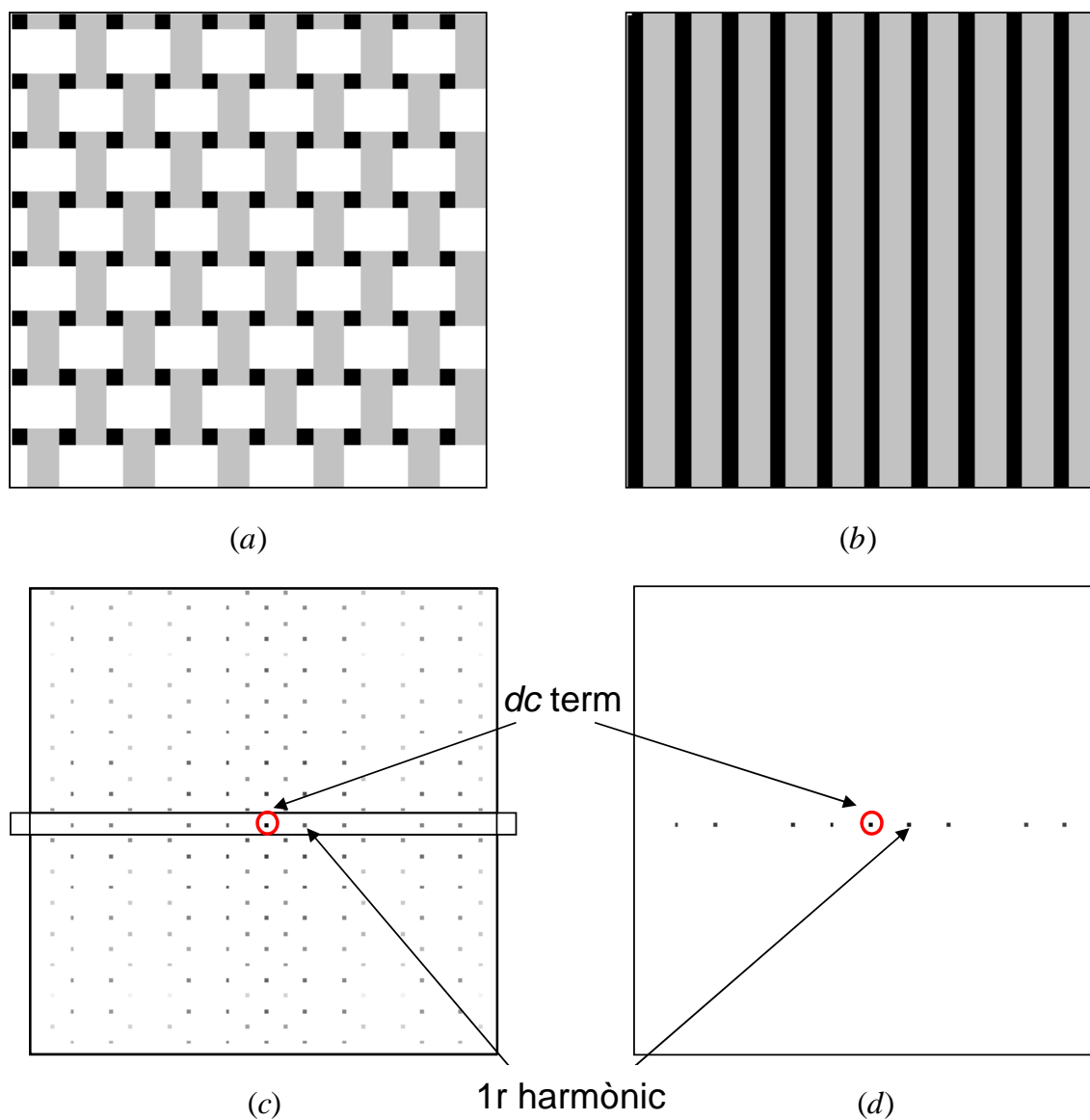
Hi ha diverses característiques estructurals del teixit que poden ser mesurades a partir de l'*EP* o d'imatges reconstruïdes a partir d'un filtratge a l'espai de Fourier. La periodicitat del patró d'un teixit tèxtil pot ser avaluada a partir dels pics de l'*EP*, i l'aspror i la direccionalitat de la textura pot ser estimada de les distribucions radial i angular de l'*EP* [Xu 1996]. A la fig. 2.2.2-1(a) es mostra la imatge d'un teixit de plana i a la fig. 2.2.2-1(b) els fils de trama, o verticals, separats dels d'ordit. A la fig. 2.2.2-1(c) i (d) es mostren els *EP* de les *TF* de les imatges (a) i (b) respectivament en escala logarítmica amb una posterior inversió per facilitar la seva visualització\* (els màxims són foscos i els mínims són clars); hi hem indicat el terme de contínua, *dc term*, o terme fonamental. Adonem-nos que la relació entre imatges de les fig. 2.2.2-1(a) i (b) queda reflectida també als seus *EP* (fig. 2.2.2-1(c) i (d)).

Notem que la localització de les freqüències emmarcades de la fig. 2.2.2-1(c) mostren concordança amb la localització de les freqüències de la fig. 2.2.2-1(d). Aquestes figures evidencien que la fila central conté la informació sobre la periodicitat dels fils de trama. La resta de freqüències de la fig. 2.2.2-1(c) fa referència a altres característiques de la imatge del teixit [Xu 1996; Esco 2001; Ralló 2003]. Anàlogament, la columna central de l'*EP* de la fig. 2.2.2-1(c) mostra l'estructura periòdica dels fils d'ordit o horitzontals. Hom pot copsar la simetria de la *TF* tant en la fig. 2.2.2-1(c) i 2.2.2-1(d).

De l'*EP* és possible mesurar la freqüència de fils  $i$ , per tant, el seu invers, el període, que és la distància entre dos fils consecutius. Degut a que el nombre de fils en la imatge és petit, les freqüències que la caracteritzen estaran molt a prop del *dc term*. Per exemple, la imatge de la fig. 2.2.2-2(a) té una resolució de 384 x 512 píxels i en ella hi ha superposat el regle de calibratge en el que la divisió mínima és 0.1 mm. La conversió de píxels a mm és de 2.5 mm/369 píxels en la direcció vertical i de 3.7 mm/504 píxels en l'horitzontal, el que dona uns períodes de mostreig de  $(6.8 \pm 0.1) \cdot 10^{-3}$  mm/píxel i  $(6.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-3}$  mm/píxel respectivament. Aleshores, aplicant 2.2.1-8 i 2.2.1-7 als períodes de mostreig del domini espacial, els períodes de mostreig al domini freqüencial són, en la direcció vertical,  $0.383 \pm 0.006$  cicles/mm i, en l'horitzontal,  $0.292 \pm 0.004$  cicles/mm. La fig. 2.2.2-2(b) mostra l'*EP* de la imatge del teixit de la fig. 2.2.2-2(a). De l'ampliació de la part central de l'*EP* copsem que el primer harmònic en la direcció vertical (ordit) es troba a una distància  $n_1 = 10$  píxels del *dc term* i en la direcció horitzontal (trama) a una distància  $n_2$

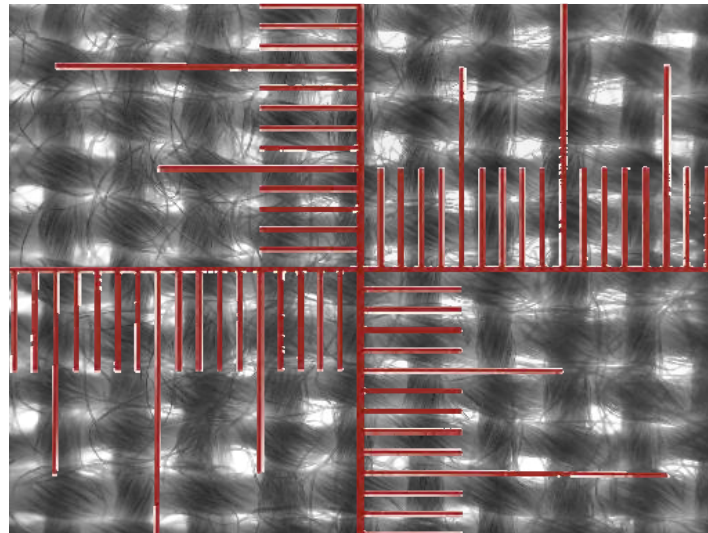
\* A fi d'obtenir una millor visualització dels pics de l'*EP* s'ha invertit la imatge on el valor 0 representa el màxim i el valor 255 el mínim, i així es farà al llarg d'aquesta memòria.

= 10 píxels. Per tant, la freqüència corresponent a aquests primers harmònics de l'ordit i de la trama és, respectivament, de  $3.83 \pm 0.06 \text{ mm}^{-1}$  i  $2.92 \pm 0.04 \text{ mm}^{-1}$ , que es corresponen amb el nombre de fils/mm. El període equivalent en el domini de la imatge és l'invers de les dues anteriors freqüències, o sigui,  $0.261 \pm 0.004 \text{ mm}$  per a l'ordit i  $0.342 \pm 0.005 \text{ mm}$  per a la trama.

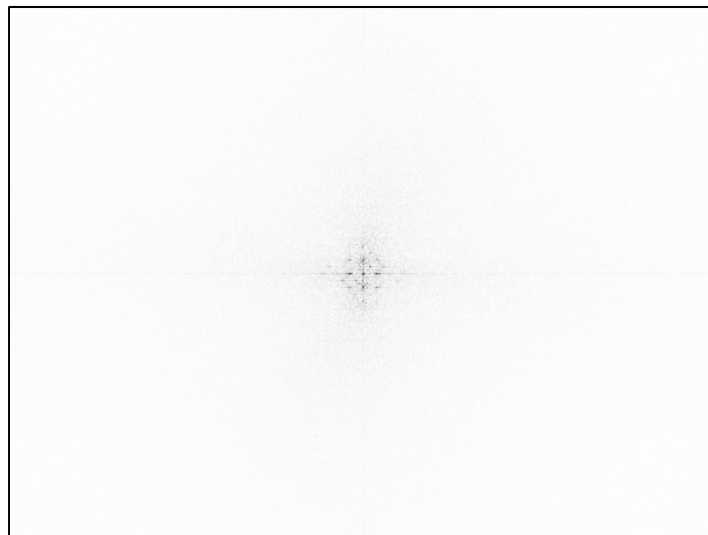


**FIGURA 2.2.2-1.** (a) Imatge d'un teixit de plana. (b) Fils de trama, o verticals, separats dels d'ordit. (c) EP de la imatge (a). (d) EP de la imatge (b).

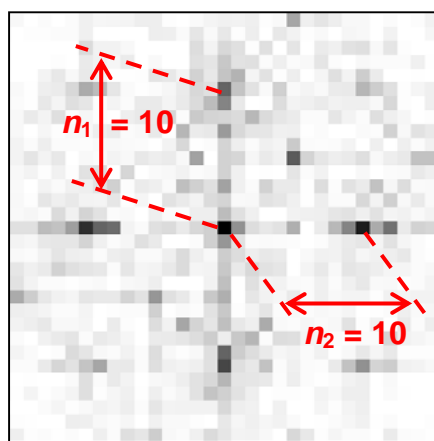




(a)



(b)



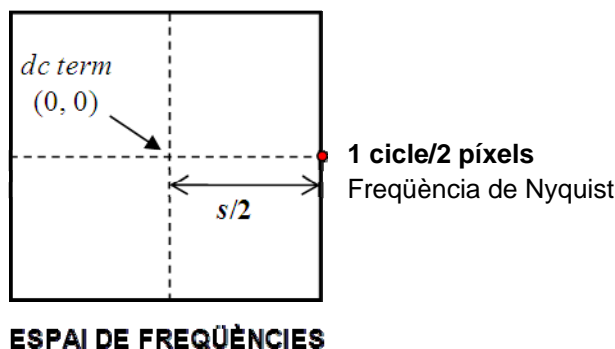
(c)

**FIGURA 2.2.2-2.** (a) Imatge d'un teixit amb el regle de calibratge superposat. (b) EP de la TF de la imatge (a). (c) Part central de la imatge (b) ampliada.

Aquestes dues distàncies anteriors són la separació entre dos fils consecutius  $i$ , per tant, els períodes d'ordit i de trama. A la fig. 2.2.2-2(a) es poden contrastar aquests resultats de manera aproximada amb l'ajut del regle de calibratge.

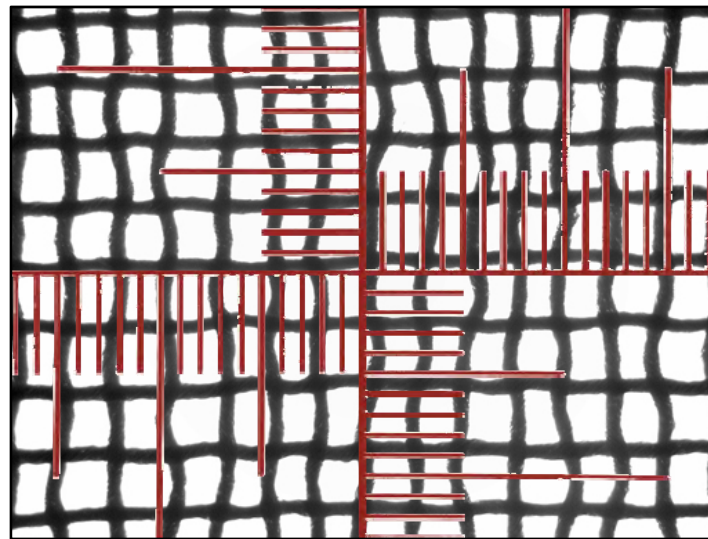
És interessant observar que la separació en píxels entre el *dc term* i el 1r harmònic,  $n_i$  ( $i = 1, 2$ ) coincideix amb el nombre de períodes complets que conté la imatge, entenent que un període està format per un fil i l'espai entre fils o forat: tant pel que fa a l'ordit (fils horitzontals) com a la trama (fils verticals) podem comptar un nombre de fils  $n_1 = n_2 = 10$  (fig. 2.2.2-2).

Relacionat amb l'anterior, cal analitzar com afecta el teorema del mostreig a les freqüències. Considerem una imatge digital de  $s$  files  $\times$   $s$  columnes. El seu *EP* també té unes dimensions de  $s$  files  $\times$   $s$  columnes. En una imatge digital, la freqüència màxima que es pot resoldre és 1 cicle cada 2 píxels (0.5 cicles/píxel), coneguda com a freqüència de Nyquist, i aquesta estarà situada al punt extrem de l'*EP*, a  $s/2$  píxels del *dc term* en el cas de l'eix horitzontal de freqüències (fig. 2.2.2-3). Aleshores, el primer harmònic en la direcció horitzontal, situat a  $k$  píxels del *dc term*, tindrà associat un valor de freqüència de  $k/s$  cicles/píxel. El període associat a aquesta freqüència serà el seu invers,  $s/k$  píxels/cicle. És per això que la distància en píxels (que aquí hem anomenat  $k$ ) entre el *dc term* i el primer harmònic de l'*EP* és el nombre de cicles que conté la imatge del teixit en la direcció considerada, o sigui,  $n_i$  ( $i = 1, 2$ ). Recordem que un cicle està compost per un fil i un forat.

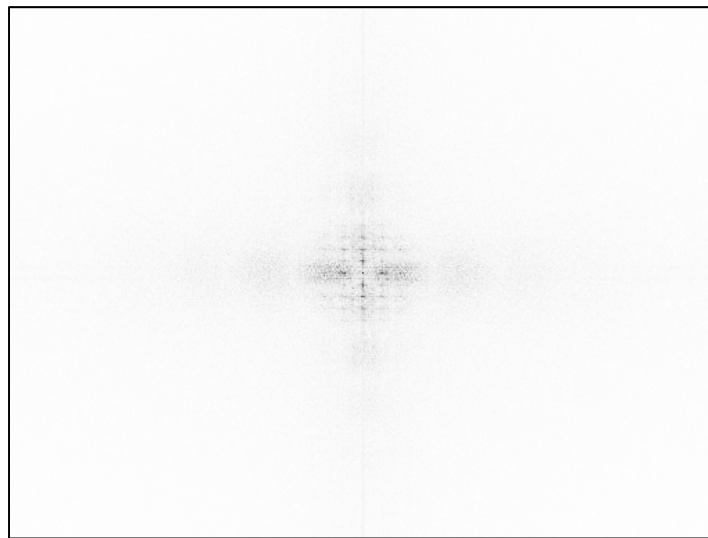


**FIGURA 2.2.2-3.** Representació de la freqüència de Nyquist.

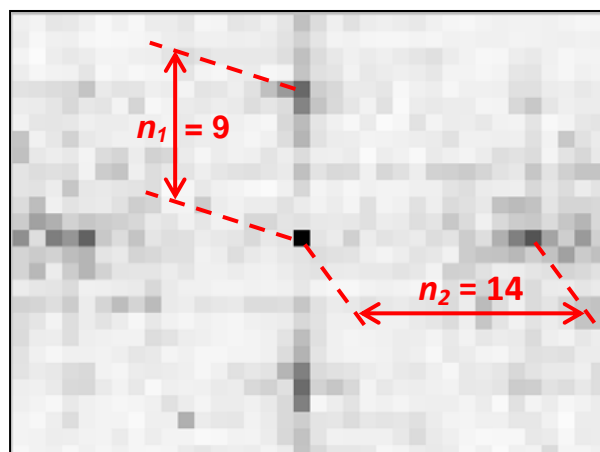
En teixits amb un grau d'atapeïment baix o, el que és el mateix, amb densitats lineals de fil baixes (teixits que d'ara endavant anomenarem teixits fluixos), com el de la fig. 2.2.2-4(a) podem exemplificar també el descrit abans. La fig. 2.2.2-4(b) mostra el seu *EP*. De l'ampliació de la part central del seu *EP* (fig. 2.2.2-4(c)) comprovem que el primer harmònic en la direcció vertical (ordit) es troba a una distància  $n_1 = 9$  píxels del *dc term* i en la direcció horitzontal (trama) a una distància  $n_2 = 14$  píxels. Multiplicant el nombre de píxels per la freqüència de mostreig en la direcció corresponent, obtenim els valors de freqüència espacial associats al primer harmònic de l'ordit,  $3.44 \pm 0.04$  cicles/mm, i de la trama,  $4.09 \pm 0.05$  cicles/mm, corresponents al nombre de fils/mm. El període equivalent en el domini de la imatge és l'invers de les dues anteriors freqüències, o sigui,  $0.291 \pm 0.004$  mm per a l'ordit (fils horitzontals) i  $0.244 \pm 0.004$  mm per a la trama (fils verticals). Les anteriors magnituds, períodes i fils/mm, poden ser valorats de manera aproximada de la fig. 2.2.2-4(a) amb l'ajut del regle de calibratge.



(a)



(b)



(c)

**FIGURA 2.2.2-4.** (a) Imatge d'un teixit flux i el regle de calibratge superposat. (b) EP de la TF de la imatge (a). (c) Part central de l'EP ampliada.

### 2.2.3 SELECCIÓ DE LA REGIÓ IDÒNIA DE LA IMATGE PER AL CÀLCUL DEL FACTOR DE COBERTURA

De manera general, la captació de la imatge d'un teixit no garanteix la presència en ella d'un nombre enter de períodes tant d'ordit com de trama, condició necessària per al càlcul del *FC* sense cometre errors de sobre o subestimació. Si el nombre de fils en la imatge és gran, no cal tenir-ho en compte ja que l'error és petit, però quan el nombre de fils és petit, com és el nostre cas, s'ha de tenir molta cura perquè es poden produir sobre o subestimacions del *FC*.

L'efecte de la regió es pot apreciar analitzant la fig. 2.2.3-1, que correspon a la imatge sintètica d'un teixit. Fent un recompte de forats a l'interior del rectangle vermell 1, s'aprecia que en conté 25, mentre que el mateix rectangle 1 desplaçat a una altra posició 1' només en conté 20. Així doncs, per al mateix rectangle, el *FC* depèn d'on estigui posat en relació amb el teixit. El *FC* al rectangle 1 serà menor que al rectangle 1'. Això es deu exclusivament a la regió seleccionada. L'efecte d'aquesta elecció de la regió en el càlcul del *FC* és molt petit, especialment quan la imatge conté molts fils de trama i d'ordit, però comença a ser més rellevant quan n'hi ha pocs. De fet, la valoració del *FC* en el cas del rectangle 1 és la que dona el *FC* menor de tots els que es poden calcular a partir d'un desplaçament del mateix rectangle. Agafant un rectangle 2, de mides diferents a l'anterior, i col·locat adientment com es mostra a la figura, s'aconsegueix minimitzar el nombre de forats al seu interior (per tant seria el cas oposat al rectangle 1), on el valor del *FC* calculat dintre d'ell dona el valor més gran de tots els que es poden calcular en el teixit, ja que és el cas en què la proporció d'àrea coberta pels fils és màxima.

Existeixen, però, certes finestres de dimensions concretes que mantenen sempre el mateix *FC* independentment de la zona del teixit on estiguin posades. Són les que contenen un nombre enter de períodes d'ordit i de trama, per exemple el rectangle verd 3 de la fig. 2.2.3-1. Es pot apreciar que, en un desplaçament qualsevol, hi ha una coincidència total entre l'àrea que es perd per una banda a conseqüència del desplaçament amb la que es guanya per l'altra banda. Aquesta mena de rectangles són els que ens interessaven a l'hora de calcular objectivament el *FC*.

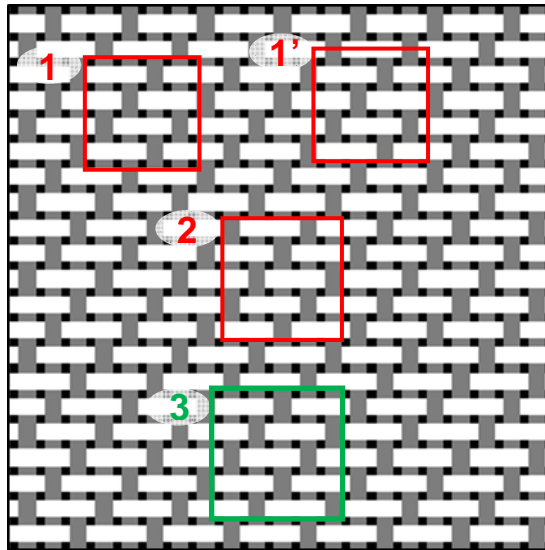
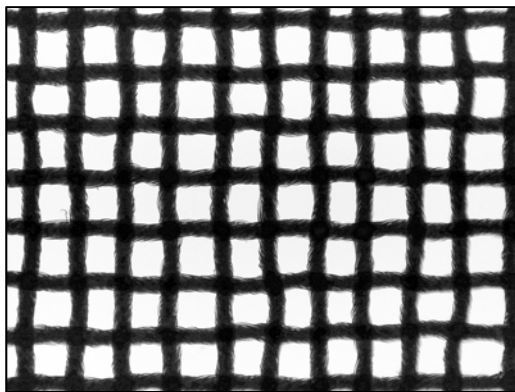
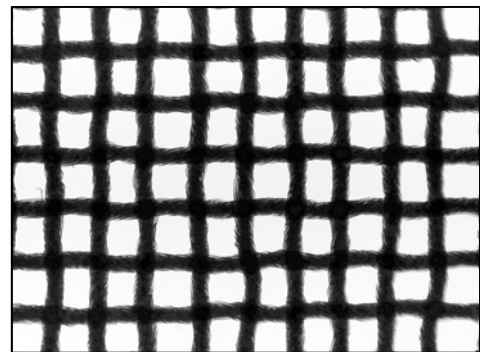


FIGURA 2.2.3-1. Efecte de la regió seleccionada per al càlcul del FC.



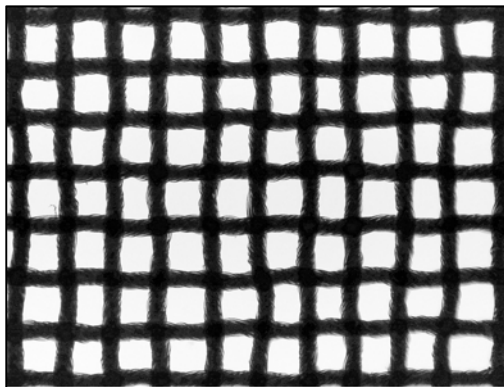
$FC = 0.607$

(a)



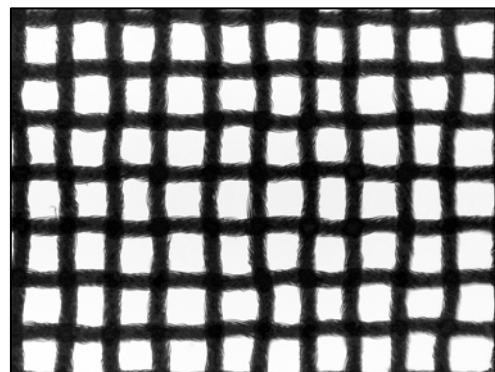
$FC = 0.555$

(b)



$FC = 0.613$

(c)



$FC = 0.586$

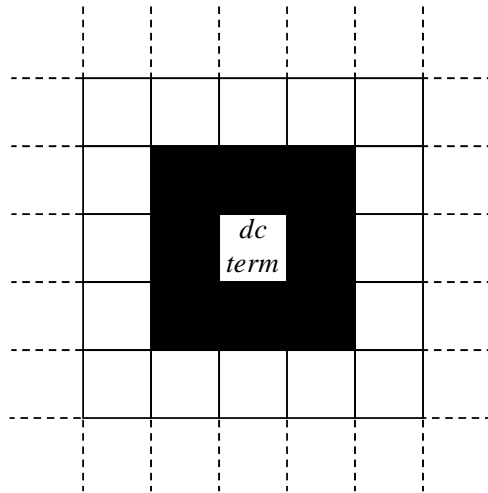
(d)

FIGURA 2.2.3-2. (a) Imatge d'un teixit. (b) Subestimació del FC. (c) Sobreestimació del FC. (d) Determinació balancejada del FC.

A la fig. 2.2.3-2 queda ben palès quan es treballa amb una mostra real la importància de l'elecció de l'àrea adequada per al càlcul del *FC*. Tinguem present que a les mostres reals els fils no són estrictament rectilinis i això fa que els retalls realitzats a la imatge de la fig. 2.2.3-2 no siguin tan nets com hom esperaria. La fig. 2.2.3-2(a) és la imatge captada d'un teixit fluix amb un *FC* = 0.607. La fig. 2.2.3-2(b) conté el retall en que el *FC* calculat és mínim (0.555). Adonem-nos que en aquest cas hi ha un nombre més gran de forats que de fils i seria el mateix cas que el del rectangle 1 de la fig. 2.2.3-1. La fig. 2.2.3-2(c) presenta el retall realitzat en el que el valor del *FC* és màxim (0.613) degut a que hi ha més encreuaments que no pas forats i, per tant, s'està incloent en el retall més superfície de fils de la que pertocaria. Seria equivalent al del rectangle 2 de la fig. 2.2.3-1. El retall correcte per a la determinació del *FC* és el que conté un balanç equitatiu d'encreuaments i de forats, com el de la fig. 2.2.3-2(d). En aquest cas, les dimensions del rectangle són un múltiple enter dels períodes d'ordit i de trama respectivament. El *FC* ara és 0.586. Aquesta situació correspondria a la del rectangle 3 de la fig. 2.2.3-1 i és la que es pretén assegurar en les determinacions de *FC* que seguiran en aquest capítol i el següent.

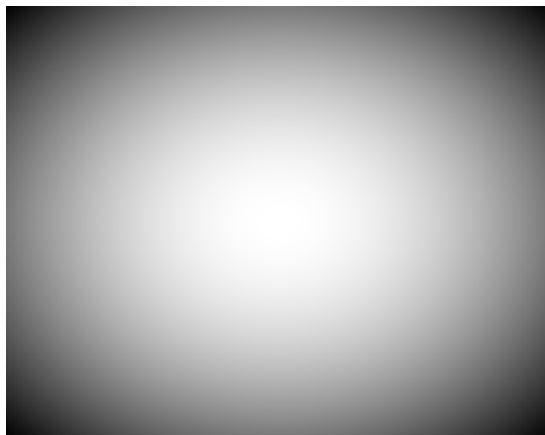
## **2.2.4 ANIVELLAMENT DE LA IL·LUMINACIÓ DE LA IMATGE**

Tot i les mesures adoptades per procurar obtenir una il·luminació uniforme, les imatges la presentaven més intensa a la part central i decaient cap a les vores. Aquest fet causa inconvenients a l'hora d'aplicar globalment un llindar per a la binarització, perquè a les àrees on decau el nivell d'il·luminació hi ha part dels píxels pertanyents als forats que, en llindaritzar, queden classificats com a píxels pertanyents als fils, tot donant un *FC* més elevat del que li correspondria a la mostra tèxtil. Per reduir els possibles problemes causats per la manca d'uniformitat de la il·luminació, s'aplica a les *TF* de totes les imatges una màscara en forma de corona quadrada de 3 x 3 píxels i gruix 1 píxel (aquesta màscara val 0 als píxels pertanyents a la corona quadrada i 1 a la resta) (fig. 2.2.4-1), centrada al *dc term* <sup>[Russ 1995]</sup>. Posteriorment, es realitza la *TF* inversa i un reescalatge entre 0 i 255 nivells de gris.



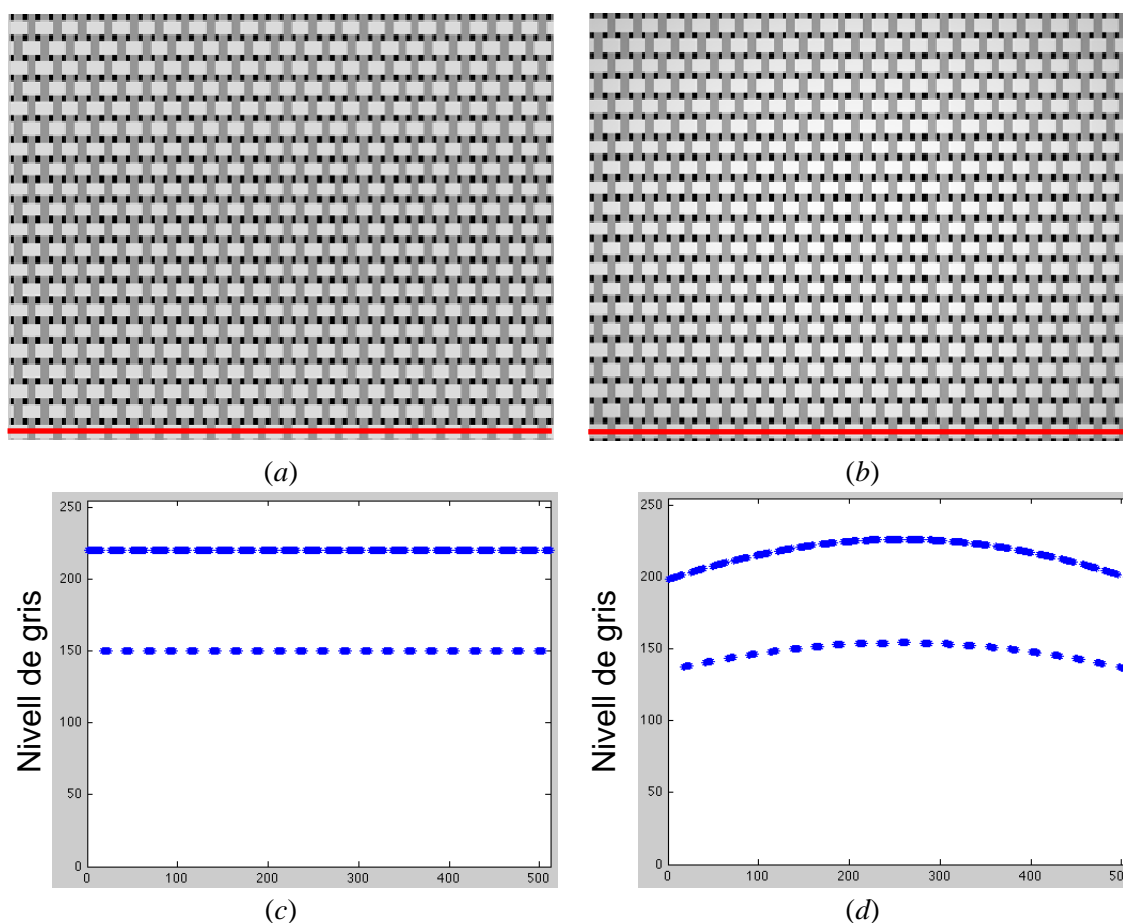
**FIGURA 2.2.4-1.** Màscara aplicada a la *TF* de les imatges dels teixits a fi d'anivellar-los la il·luminació.

A tall d'exemple, la fig. 2.2.4-2 mostra un fons amb vinyetatge gaussià. En aquest cas la il·luminació, que hauria de ser uniforme, té un decaïment gaussià del centre de la imatge cap a les vores.



**FIGURA 2.2.4-2.** Vinyetatge gaussià

La fig. 2.2.4-3(a) mostra la simulació d'un teixit de plana amb il·luminació uniforme mentre que la figura 2.2.4-3(b) mostra la mateixa figura amb un vinyetatge de forma gaussiana. S'observa, a cop d'ull, que els píxels del centre de la imatge presenten nivells de gris més grans que els de les vores.



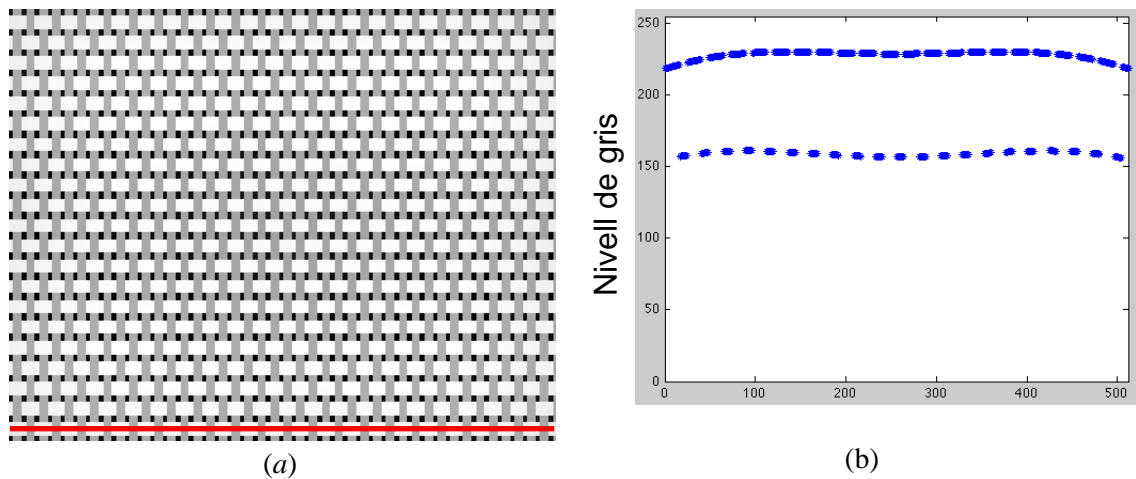
**FIGURA 2.2.4-3.** (a) Teixit amb il·luminació uniforme. (b) Teixit amb vinyetatge gaussià. (c) Perfil d'intensitats en el cas de la línia marcada en vermell en la fig. (a). (d) Perfil d'intensitats en el cas de la línia marcada en vermell en la fig. (b).

La fig. 2.2.4-3(c) mostra el valor de nivells de gris de la línia marcada en vermell en la fig. 2.2.4-3(a). Degut a que només hi ha dos nivells els seus valors són 220 per als píxels més clars i 150 pels més foscos. La fig. 2.2.4-3(d) mostra els valors del nivell de gris en la mostra vinyetada de la figura 2.2.4-3(b). Els valors més clars ara varien entre 200 i 226 mentre que els més foscos varien entre 138 i 155.

Per aplanar el perfil d'intensitats, s'aplica la màscara de la fig. 2.2.4-1 a l'espai de Fourier i posteriorment la *TF* inversa.

La fig. 2.2.4-4(a) mostra la imatge filtrada i la fig. 2.2.4-4(b) els nous nivells de gris en el perfil analitzat abans. S'observa una uniformització en els valors centrals encara que persisteix el vinyetatge a les vores però amb una variació d'intensitats molt més petita.





**FIGURA 2.2.4.-4.** (a) Teixit amb correcció de il·luminació aplicant el filtre de la fig. 2.2.4-1. (b) Perfil de il·luminació en la mateixa línia que a les fig. 2.2.4-3(a) i 2.2.4-3(b).

## 2.2.5 APLICACIÓ D'UNA LOOKUP TABLE A LES IMATGES

Els monitors incrementen el contrast de la imatge a partir de la relació no lineal que existeix entre la luminància emesa i el nivell de gris dels píxels [Hols 1998; Kore 2001]. A fi d'intentar emular aquest comportament en la utilització de qualsevol algorisme automàtic de segmentació, s'ha aplicat una *lookup table* (LUT) [Gonz 1993] a les imatges preprocessades (apartats 2.1.2 i 2.2.4), assignant a cada píxel el quadrat del seu nivell de gris. La imatge resultant ha estat posteriorment reescalada a 256 nivells de gris.

## 2.3 SEGMENTACIÓ VISUAL

Tal i com hem comentat a l'apartat 1.3, un dels objectius d'aquesta tesi doctoral és l'elaboració d'un algorisme de segmentació automàtica, per a la determinació del *FC* d'un teixit, que presenti una correlació alta amb els valors de *FC* determinats visualment per un grup d'observadors experts i que contempli la subjectivitat que hi ha en la valoració visual segons la Llei de Stevens, definida més endavant, a l'apartat 2.7.

La determinació del *FC* obtingut visualment s'ha dut a terme creant, amb Matlab, una rutina de presentació de la imatge original al costat d'una d'igual a la que se li apliquen llindars visuals mitjançant un cursor. A la fig. 2.3-1 es pot apreciar l'aspecte de l'aplicació dissenyada per a aquesta comesa: la imatge de la dreta és la que, mitjançant el desplaçament del cursor, és susceptible de ser llindaritzada. A la imatge de la dreta surten acolorits en magenta els píxels amb un nivell de gris per sobre del llindar seleccionat amb el cursor. L'observador valida la mesura en el moment en què considera que els forats

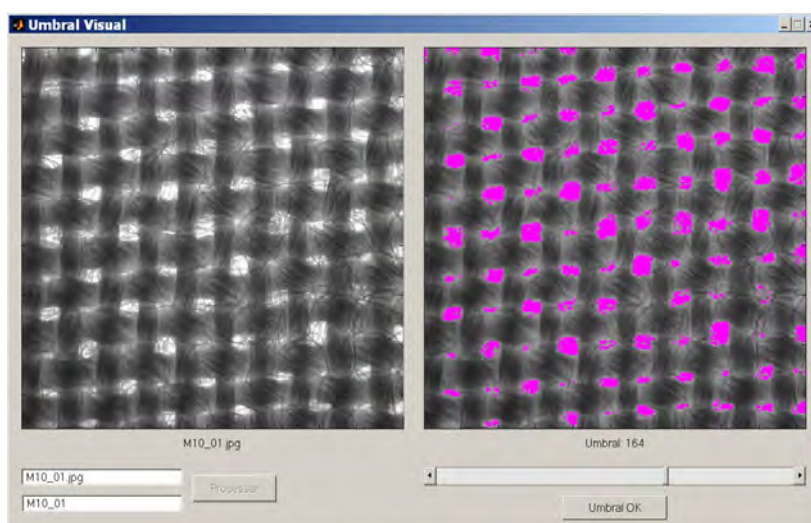
magenta de la imatge de la dreta tenen visualment les mateixes característiques que els forats blancs de la imatge de l'esquerra o de referència.

Per a cada mostra es calcula el *FC* visual com:

$$FC = \frac{\text{nombre de píxels amb nivell de gris} \leq \text{llindar}}{\text{nombre total de píxels de la imatge}}, \quad (2.3-1)$$

on en aquest cas *llindar* es refereix al llindar determinat visualment.

S'ha determinat visualment el llindar als tres conjunts de mostres definits a la taula 2.1.3-1. Un total de 18 individus van realitzar les seves valoracions de 81 imatges preprocessades de mostres de roba. Finalment, per a cada mostra, s'ha calculat el *FC* promig de les 18 valoracions. Aquest és el valor de referència que s'utilitzarà més endavant per validar qualsevol algorisme de llindarització automàtica que condueixi al càlcul del *FC*.



**FIGURA 2.3-1.** Aspecte de l'aplicació emprada per a la determinació visual del llindar. A l'esquerra hi ha la imatge de referència i a la dreta la imatge llindaritzada visualment.

L'atenció dels observadors es va focalitzar en l'àrea oberta, és a dir, en els forats. La proporció d'àrea oberta en cada mostra és  $1-FC$ . Una anàlisi interessant dels resultats dels observadors resulta quan es representa, per a cada mostra, la variabilitat dels resultats en funció de la magnitud de l'àrea oberta o factor d'obertura. La fig. 2.3-2 mostra aquesta relació en escala logarítmica. A mesura que els forats es van fent grans, la variabilitat de les 18 mesures d'aquesta àrea corresponents als 18 observadors també augmenta. La

gràfica sembla mostrar també que, en aquesta escala logarítmica, la relació entre l'increment d'aquestes dues magnituds és lineal per als valors de *FC* considerats en aquest estudi. És a dir, a mesura que el *FC* s'allunya d'1, la precisió amb què un observador és capaç de determinar-lo disminueix. En aquest punt només es fa referència a la precisió, però més endavant, en la secció 2.6 sobre la llei de Stevens, també es discutirà sobre l'exactitud.

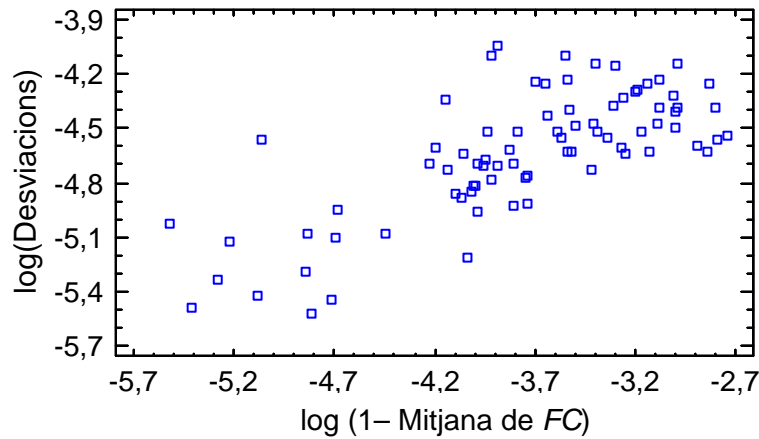


FIGURA 2.3-2. *FC* visuals: anàlisi dels resultats dels observadors.

L'anàlisi de la relació entre el *FC* i les característiques de fabricació de les mostres també proporciona resultats interessants. El *FC* d'una mostra de teixit variarà segons quins siguin els diàmetres dels fils d'ordit i de trama. Diàmetres més grans donaran lloc a *FC* més alts. La relació entre el *FC* i aquests diàmetres és lineal. Anàlogament, l'increment o la disminució de la freqüència dels fils, tant d'ordit com de trama, també afecta el *FC* en el mateix sentit d'incrementar o disminuir. La relació és lineal com en el cas anterior.

Les especificacions de fabricació dels fils no indiquen directament el seu diàmetre però sí la seva densitat lineal en grams de fil per kilòmetre de longitud, coneguda com a número del fil o títol del fil. Aquesta unitat es coneix com a *tex*. Si multipliquem el número del fil, *T*, pel volum específic, *v<sub>e</sub>*, del material amb que està fet el fil, sabrem el volum que ocupa 1 Km de fil. Com que tal volum, *V*, se suposa cilíndric,

$$V = T \cdot v_e \cdot 1 \text{ Km} \tag{2.3-2}$$

$$V = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot 1 \text{ Km}. \tag{2.3-3}$$

Igualant (2.3-2) i (2.3-3) i aïllant el diàmetre del fil *d*, es dedueix que el diàmetre del fil és proporcional a l'arrel quadrada del número del fil,

$$d \propto \sqrt{T}. \quad (2.3-4)$$

Per això ajustarem als FC el següent model estadístic

$$\begin{aligned} FC_{visual\ observat} = & \\ & = FC + \text{efecte de la Fibra} \\ & + \text{efecte lineal de la freqüència i el número de l'ordit} \\ & + \text{efecte lineal de la freqüència i el número de la trama} \\ & + \text{interacció lineal dels dos efectes anteriors} + \text{Residu} \end{aligned} \quad (2.3-5)$$

en el que s'han incorporat, a més, els següents dos possibles efectes:

- 1) el del tipus de fibra amb què s'ha fabricat el fil i,
- 2) la interacció entre la trama i l'ordit com a conseqüència dels seus encreuaments.

L'efecte conjunt de la freqüència i dels diàmetres dels fils d'ordit serà proporcional al seu producte i, expressat en termes de la densitat de fils, serà proporcional a  $(\text{freqüència d'ordit}) \cdot \sqrt{\text{número del fil d'ordit}}$ . Anàlogament per a la trama, l'efecte conjunt esmentat abans serà proporcional a  $(\text{freqüència de trama}) \cdot \sqrt{\text{número del fil de trama}}$ .

Aplicant el model general lineal i fent l'anàlisi de la variància corresponent es comprova que tots els efectes considerats en el model són estadísticament significatius. Concretament, el model ajustat és:

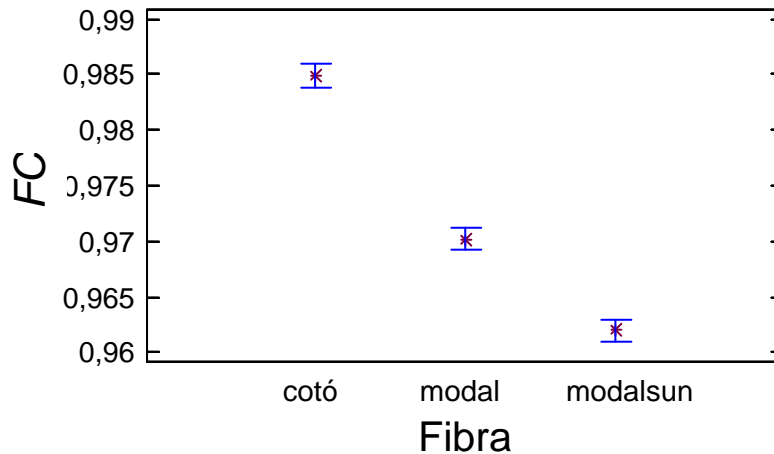
$$\begin{aligned} FC = & 0,740249 + 0,012542 * A - 0,002190 * B - 0,010351 * C \\ & + 0,00120008 * (\text{Freqüència fil ordit} * \sqrt{\text{Número fil ordit}}) \\ & + 0,0012831 * (\text{Freqüència fil trama} * \sqrt{\text{Número fil trama}}) \\ & - 0,00000603368 * (\text{Freqüència fil ordit} * \sqrt{\text{Número fil ordit}}) \\ & * (\text{Freqüència fil trama} * \sqrt{\text{Número fil trama}}) + \text{Residu} \end{aligned} \quad (2.3-6)$$

on

$$\begin{aligned} A &= 1 \text{ si Fibra} = \text{coto}, 0 \text{ altrament} \\ B &= 1 \text{ si Fibra} = \text{modal}, 0 \text{ altrament} \\ C &= 1 \text{ si Fibra} = \text{modalsun}, 0 \text{ altrament.} \end{aligned}$$

De l'eq. (2.3-6) s'aprecia que l'efecte de l'ordit és similar al de la trama ja que els seus coeficients són pràcticament coincidents. Probablement la diferència de tensió a la que estan sotmesos els fils en el procés de tissatge explicaria la diferència entre els dos coeficients. Els fils d'ordit tenen una tensió més alta que no pas els de trama.

La gràfica de la fig. 2.3-3 mostra el comportament de la mitjana del *FC* visual en funció del tipus de fibra amb la que s'han fabricat els teixits. Se n'evidencia la seva importància.



**FIGURA 2.3-3.** Mitjana del *FC* visual en funció del tipus de fibra.

Amb tot l'anterior, l'ajustament de les dades que s'obté amb el model indicat es mostra a la fig. 2.3-4. Els residus que apareixen en la fig. 2.3-5 mostren la variabilitat deguda als observadors.

Aplicant l'anàlisi de la variància s'obté que una estimació de la desviació estàndard dels residus igual a 0.0112. Entenent que els residus descriuen la variabilitat atribuïble als observadors i a altres fonts, i assumint una distribució dels residus aproximadament normal, l'anterior desviació estàndard indica que en un 5% dels casos, la diferència entre el *FC* d'un observador amb la mitjana dels observadors per a la mateixa mostra és superior a un 2.24% aproximadament. A la gràfica de la fig. 2.3-5 s'aprecia el fet indicat a l'inici: la precisió augmenta a mesura que el *FC* visual s'aproxima a 1.

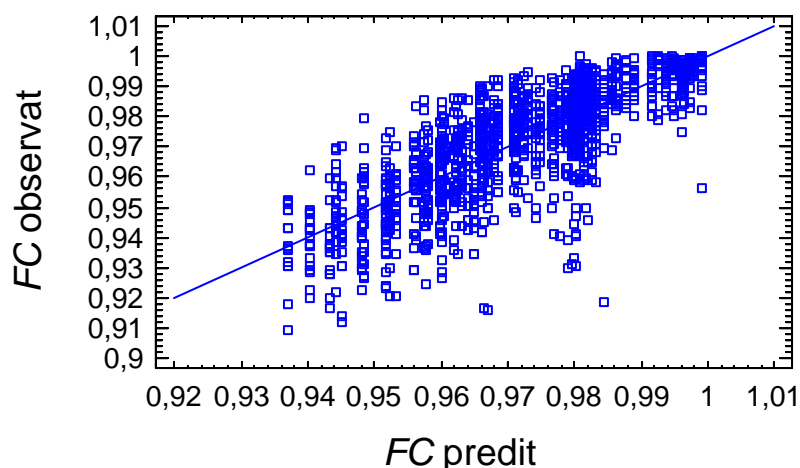


FIGURA 2.3-4. Ajustament de les dades experimentals i les obtingudes amb el model (2.3-6)

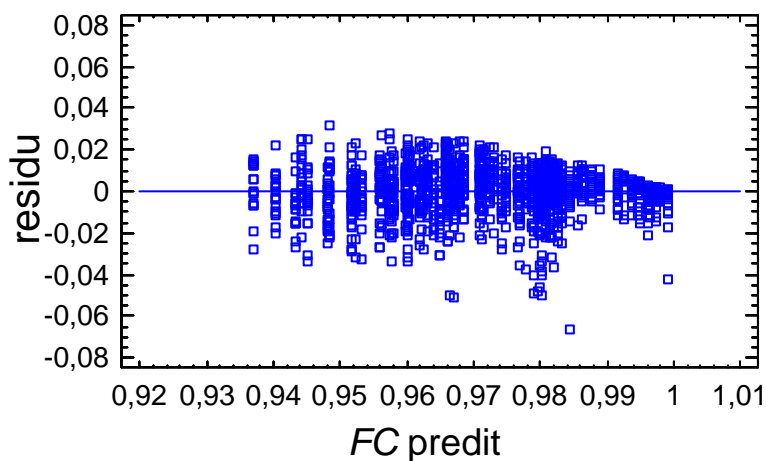


FIGURA 2.3-5. Residus corresponents a la gràfica de la fig. 2.3-4

## 2.4 ALGORISMES DE SEGMENTACIÓ AUTOMÀTICA

La majoria de criteris de segmentació automàtica es basen en l'histograma de la imatge en nivells de gris. L'histograma és una descripció estadística de l'abundància de nivells de gris en una imatge. Com que les imatges dels teixits tenen dues regions ben diferenciades, els fils i els forats, aquesta característica es posarà de manifest clarament a l'histograma, donant dos modes o classes: una pertanyent als fils, situada en els valors baixos de nivell de gris i l'altra, pertanyent als forats, situada en els valors alts de nivell de gris. En aquest cas es parla d'histograma bimodal. La predominança d'una classe sobre l'altra dependrà del valor del *FC* de la mostra de teixit. En el nostre cas, en totes les mostres analitzades, els *FC* superaven el valor 0,5, el que implicava que el mode pertanyent als fils tenia una major quantitat de píxels que el pertanyent als forats. Conforme va creixent el *FC*, més

quantitat de píxels de la imatge aniran a parar a la classe dels fils, en detriment de la classe dels forats. Per a  $FC$  propers a 1, on el teixit quasi no presenta forats, la classe dels forats és inapreciable, parlant en aquest cas d'histograma unimodal.

D'entre els mètodes de segmentació automàtica més habituals, els utilitzats han estat [Saho 1988; Glas 1993; Sezg 2004].

- 1) **Mescla de gaussianes (GM)**. L'algorisme s'anomena *Expectation / Maximization*. Modela l'histograma com una suma ponderada de gaussianes. El llindar òptim és el punt de creuament entre les dues gaussianes.
- 2) **Kittler-Illingworth (K-I)**. Pressuposa que l'histograma es pot modelar com la suma ponderada de dues gaussianes. El llindar òptim és el que minimitza la divergència de Kullback entre les gaussianes estimades.
- 3) **Otsu**. Proposa com a llindar òptim aquell que minimitza la suma ponderada de les variances a cada costat del llindar.
- 4) **K-means**. Algorisme iteratiu que permet tenir més de dues classes. S'inicialitza amb dos centres de clúster en el nostre cas. S'assignen els píxels al clúster més proper. Es recalculen els centres de clúster i es torna a començar amb aquests nous centres. S'atura quan no hi ha canvis en els centres de clúster.

La majoria dels criteris de llindarització global automàtica descrits abans solen funcionar bé quan l'histograma és bimodal, tal i com veiem a les imatges de les mostres de teixits fluïxos de les fig. 2.4-1 i 2.4-3. En ambdues figures, la imatge original preprocessada és la de la fig. (a) mentre que la de la fig. (b) és la imatge (a) a la que li hem aplicat la *LUT* quadràtica i el posterior reescalatge a 256 nivells de gris. Les fig. 2.4-2 i 2.4-4 presenten els seus histogrames respectius on es veuen dues classes ben diferenciades i separades, la corresponent als forats o nivells de gris alts i la corresponent als fils o nivells de gris baixos. La pràctica totalitat dels píxels de la imatge es troba en una classe o l'altra, fent que la vall que queda entre les dues classes sigui molt plana i de molt poca altura. Aquesta geometria dels histogrames marcadament bimodals permet afirmar que valors de llindars dispers agafats entre les dues classes donen lloc a valors de  $FC$  molt propers. Aquest fet es pot comprovar a les taules 2.4-1 i 2.4-2, les quals contenen els valors dels llindars i  $FC$  obtinguts amb els mètodes de segmentació automàtica descrits abans, a més dels obtinguts visualment. Els llindars obtinguts amb cada mètode també es troben indicats en els seus histogrames.

Analitzant els resultats de la taula 2.4-1, pertanyent a la imatge de la fig. 2.4-1(b), observem que els valors de llindars oscil·len entre 102 i 160, donant uns  $FC$  de 0.587 a 0.609 respectivament (molt propers al visual, 0.593), el que equival a una diferència d'uns 2 punts percentuals entre els valors de  $FC$  extrems. Referent als resultats de la imatge de la fig. 2.4-3(b), reflectits a la taula 2.4-2, el mètode de segmentació que dona

un valor de *FC* més allunyat de la resta és el de Kittler-Illingworth (0.714). Deixant de banda aquest resultat i centrant-nos en la resta de mètodes, veiem que els lindars oscil·len entre 67 i 112, obtenint amb ells uns *FC* que van de 0.786 a 0.817 i existint entre ells una diferència de 3 punts percentuals. El valor de *FC* determinat visualment és molt proper als anteriors: 0.813.

Pel que podem concloure dels resultats de *FC* de les mostres de teixits fluixos anteriors, els diferents mètodes de segmentació donen valors de *FC* similars i propers al del mètode visual. Per tant, ens permet afirmar que, en els casos de teixits fluixos, l'elecció de l'algorisme de segmentació per al càlcul del *FC* és poc crítica.

És interessant, però, realitzar una anàlisi similar a l'anterior en mostres amb un grau d'atapeïment alt (fig. 2.4-5) i moderat (fig. 2.4-7). Els seus histogrames (fig. 2.4-6 i 2.4-8) mostren l'existència d'una única classe o mode (la pertanyent als fils), anomenant-se unimodals, en el sentit que els píxels amb nivell de gris alt són escassos. En aquests casos, l'elecció del criteri de segmentació utilitzat juga un paper crític per al càlcul del *FC* com es pot comprovar a les taules de resultats 2.4-3 i 2.4-4. També, com veurem, ara és més important que els lindars obtinguts amb els mètodes automàtics de segmentació s'acostin al visual, ja que aquesta és la garantia d'assolir un *FC* en concordança amb aquest criteri. En ambdós exemples el llindar que més s'allunya, de llarg, del criteri visual és el de la mescla de gaussianes. Amb aquests histogrames unimodals separar els píxels en dues classes proporciona resultats incerts quan s'apliquen algorismes automàtics que estan dissenyats per separar-los en dues classes.

En cadascun dels dos exemples de teixits atapeïts el llindar que dona un *FC* més proper al visual és diferent en cada cas. Per a la mostra *atapeït\_1* (fig. 2.4-5) el *FC* que més s'apropa al visual (0.972) és l'obtingut amb el mètode de Kittler-Illingworth (0.949). D'altra banda, per a la mostra *atapeït\_2* (fig. 2.4-7) són els mètodes d'Otsu (*FC* = 0.896) i K-means alhora (*FC* = 0.900) els que donen *FC* més propers al visual (*FC* = 0.932).

Aquesta dependència existent entre el tipus de mostra i l'elecció de l'algorisme automàtic de segmentació que proporciona un *FC* similar al determinat visualment, és un fort inconvenient de cara a poder realitzar de manera informatitzada el càlcul del *FC*, ja que comportaria la intervenció d'un operari que decidís l'algorisme a aplicar, a part que en tot moment requeriria de la referència visual. D'aquí es desprèn la necessitat de dissenyar un nou algorisme automàtic de segmentació que sigui invariant en front el tipus de mostra de teixit (fluix o atapeït) i que correlacioni amb els valors que s'obtidrien llinaritzant de manera visual.



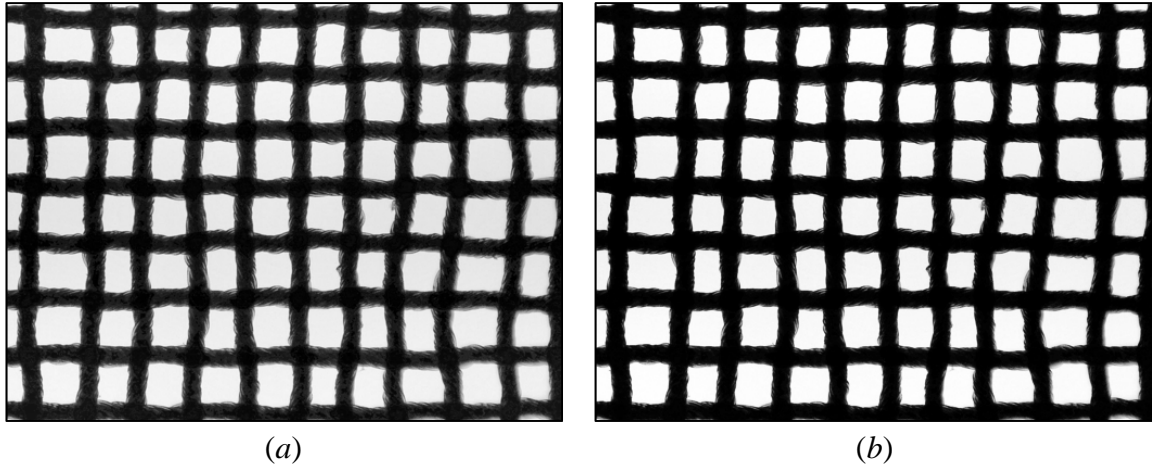


FIGURA 2.4-1. (a) Imatge original preprocessada (flux\_1). (b) Imatge (a) a la que se li ha aplicat la LUT quadràtica i el posterior reescalatge a 256 nivells de gris.

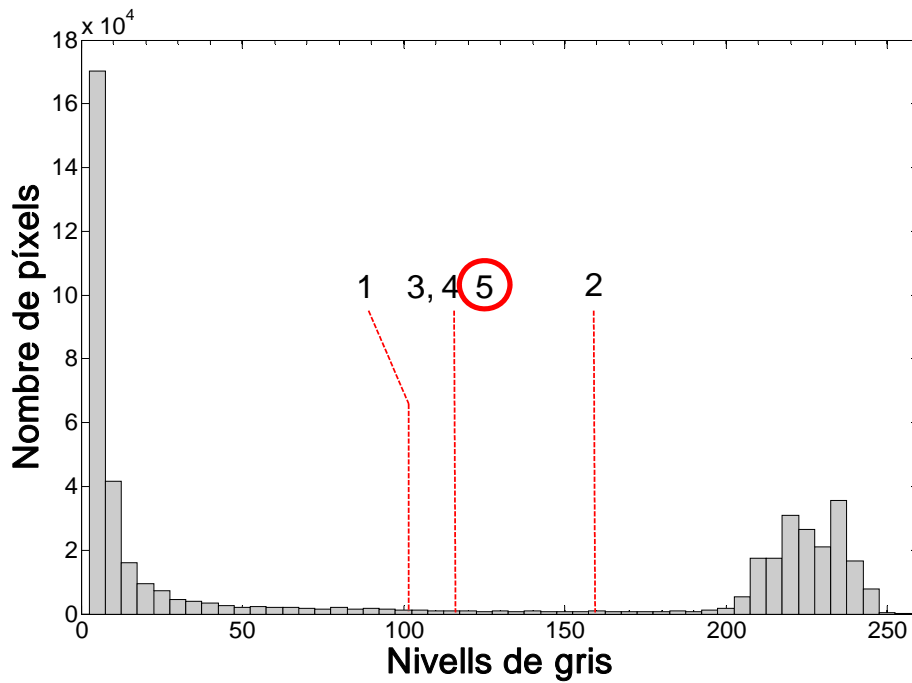


FIGURA 2.4-2. Histograma de la imatge 2.4-1(b) on s'especifiquen els llindars obtinguts pels mètodes: 1, Mescla de gaussianes; 2, Kittler-Illingworth; 3, Otsu; 4, K-means; 5, Visual.

clau	mètode	llindar	FC
1	GM	102	0.587±0.001
2	K-I	160	0.609±0.001
3	Otsu	116	0.593±0.001
4	K-means	113	0.592±0.001
5	Visual	114	0.593±0.008

TAULA 2.4-1: Valors dels llindars i FC de la imatge 2.4-1(b) obtinguts amb els diferents mètodes.

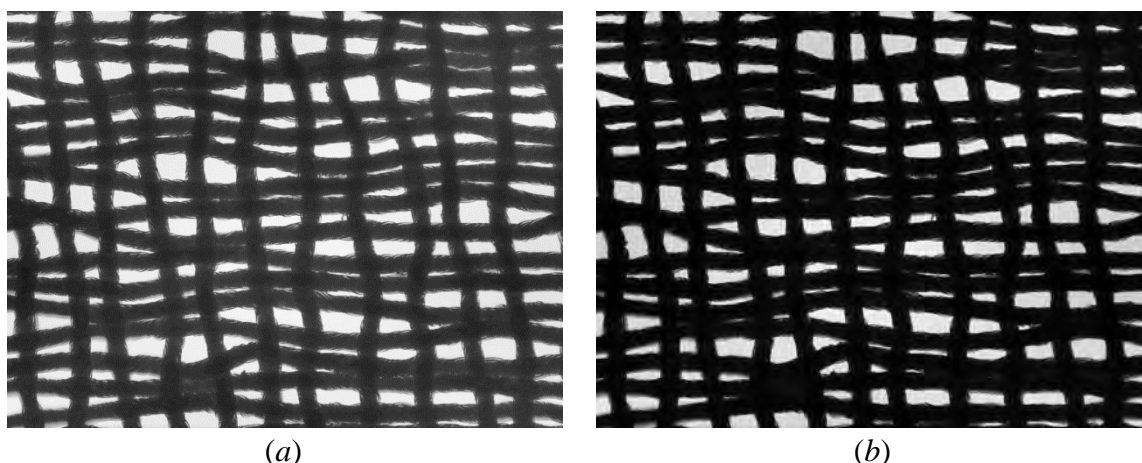


FIGURA 2.4-3. (a) Imatge original preprocessada (flux\_2). (b) Imatge (a) a la que se li ha aplicat la LUT quadràtica i el posterior reescalatge a 256 nivells de gris.

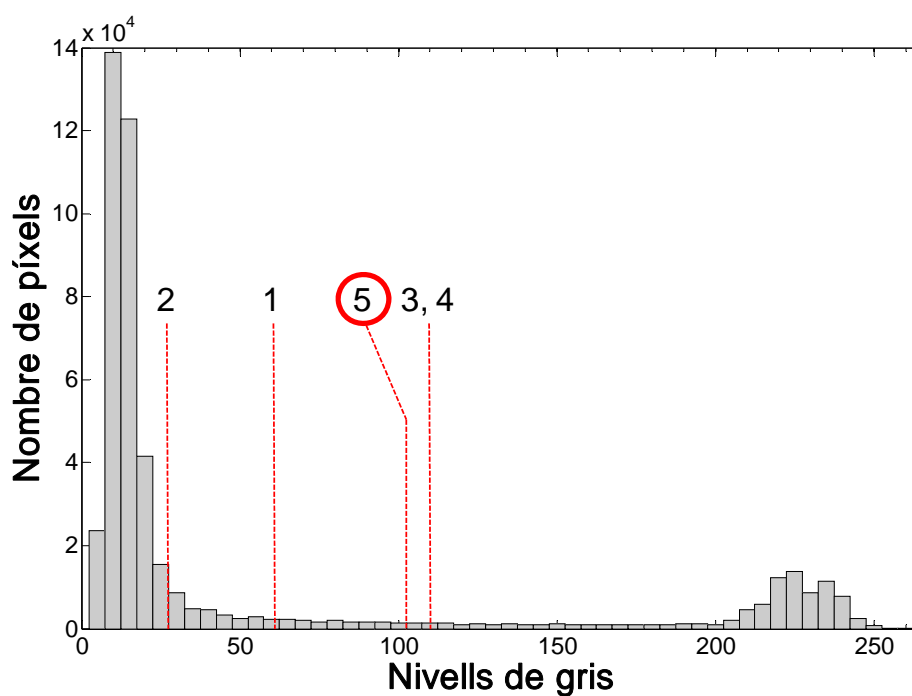


FIGURA 2.4-4. Histograma de la imatge 2.4-3(b) on s'especifiquen els llindars obtinguts pels mètodes: 1, Mescla de gaussianes; 2, Kittler-Illingworth; 3, Otsu; 4, K-means; 5, Visual.

clau	mètode	llindar	FC
1	GM	67	0.786±0.001
2	K-I	24	0.714±0.001
3	Otsu	112	0.817±0.001
4	K-means	111	0.817±0.001
5	Visual	105	0.813±0.008

TAULA 2.4-2. Valors dels llindars i FC de la imatge 2.4-3(b) obtinguts amb els diferents mètodes.

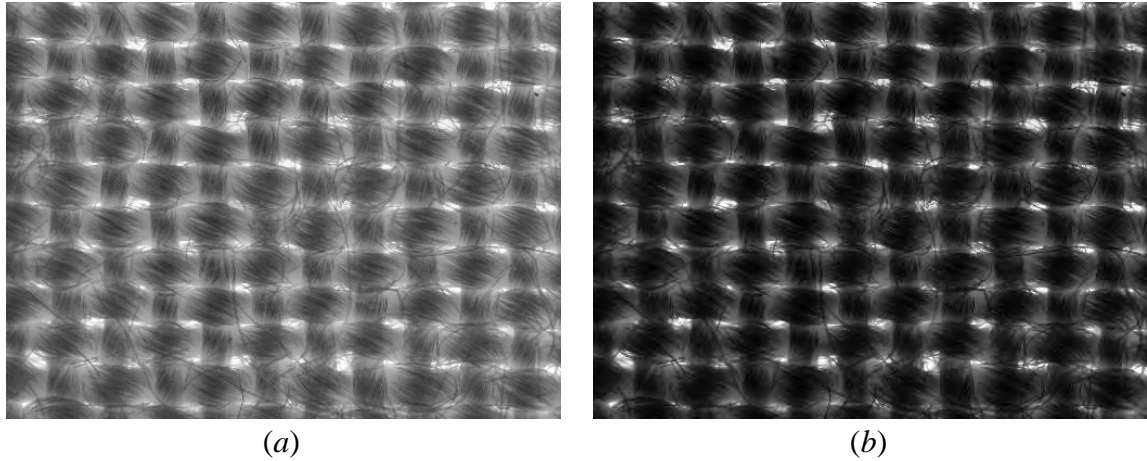


FIGURA 2.4-5. (a) Imatge original preprocessada d'un teixit amb alt grau d'atapeïment (atapeït\_1). (b) Imatge (a) a la que se li ha aplicat la LUT quadràtica i el posterior reescalatge a 256 nivells de gris.

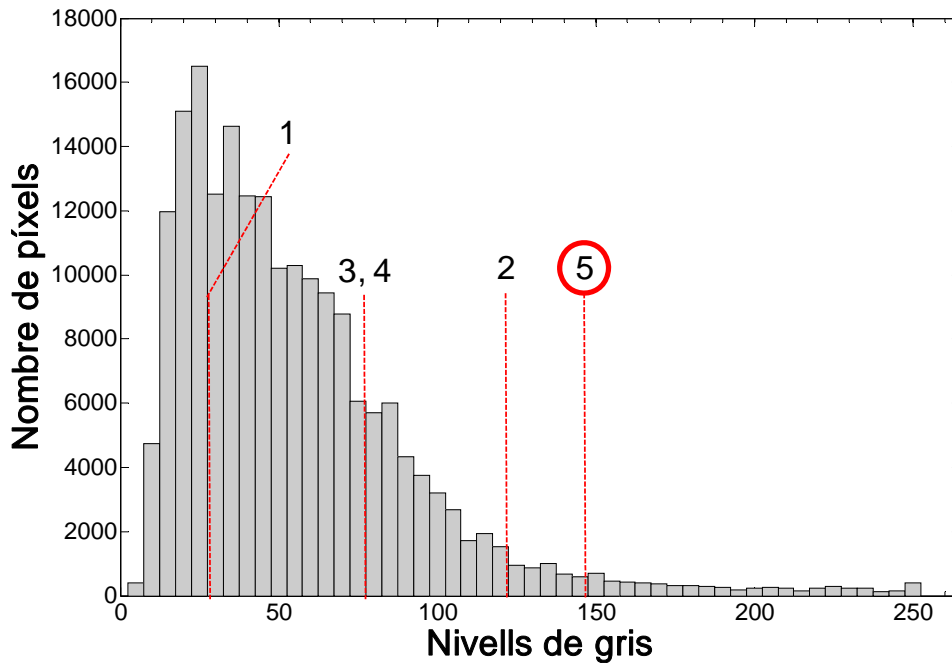
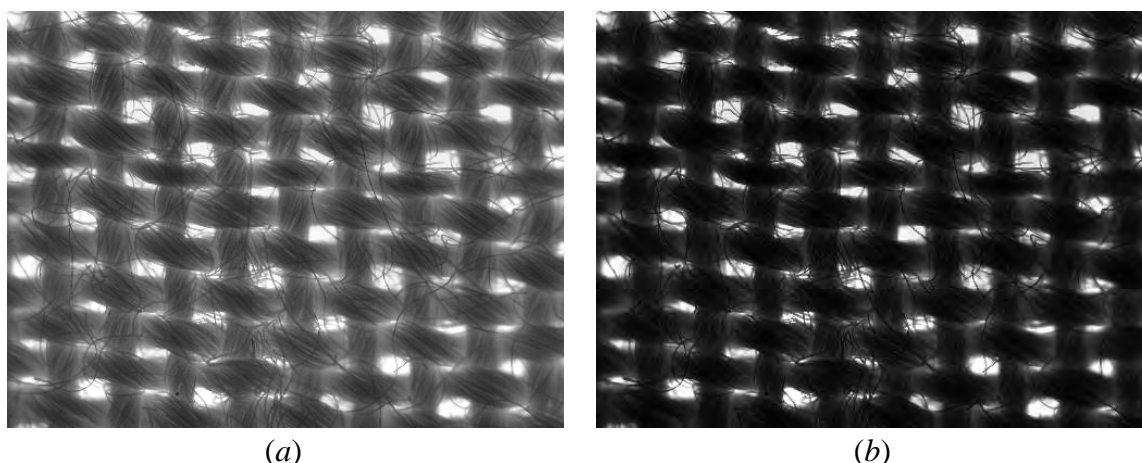


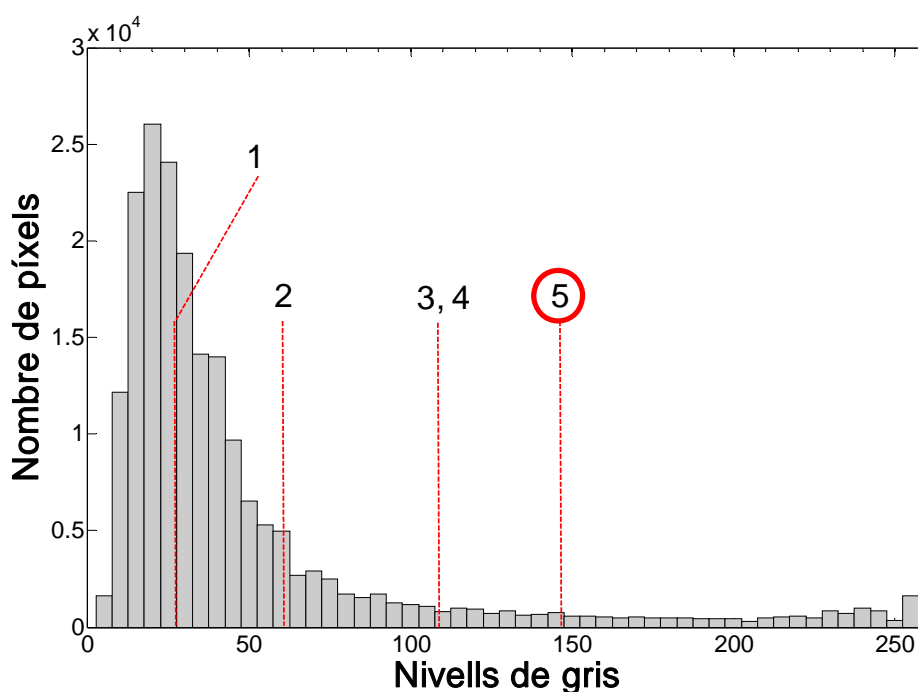
FIGURA 2.4-6. Histograma de la imatge 2.4-5(b) on s'especifiquen els llindars obtinguts pels mètodes: 1, Mescla de gaussianes; 2, Kittler-Illingworth; 3, Otsu; 4, K-means; 5, Visual.

clau	mètode	llindar	FC
1	GM	28	0.378±0.001
2	K-I	125	0.949±0.001
3	Otsu	73	0.768±0.001
4	K-means	75	0.783±0.001
5	Visual	149	0.972±0.008

TAULA 2.4-3. Valors dels llindars i FC de la imatge 2.4-3(b) obtinguts amb els diferents mètodes.



**FIGURA 2.4-7.** (a) Imatge original d'un teixit amb un grau moderat d'atapeïment (atapeït\_2). (b) Imatge (a) a la que se li ha aplicat la LUT quadràtica i el posterior reescalatge a 256 nivells de gris.



**FIGURA 2.4-8.** Histograma de la imatge 2.4-7(b) on s'especifiquen els llindars obtinguts pels mètodes: 1, Mescla de gaussianes; 2, Kittler-Illingworth; 3, Otsu; 4, K-means; 5, Visual.

clau	mètode	llindar	FC
1	GM	27	0.483±0.001
2	K-I	65	0.830±0.001
3	Otsu	102	0.896±0.001
4	K-means	106	0.900±0.001
5	Visual	144	0.932±0.008

**TAULA 2.4-4.** Valors dels llindars i FC de la imatge 2.4-5(b) obtinguts amb els diferents mètodes.

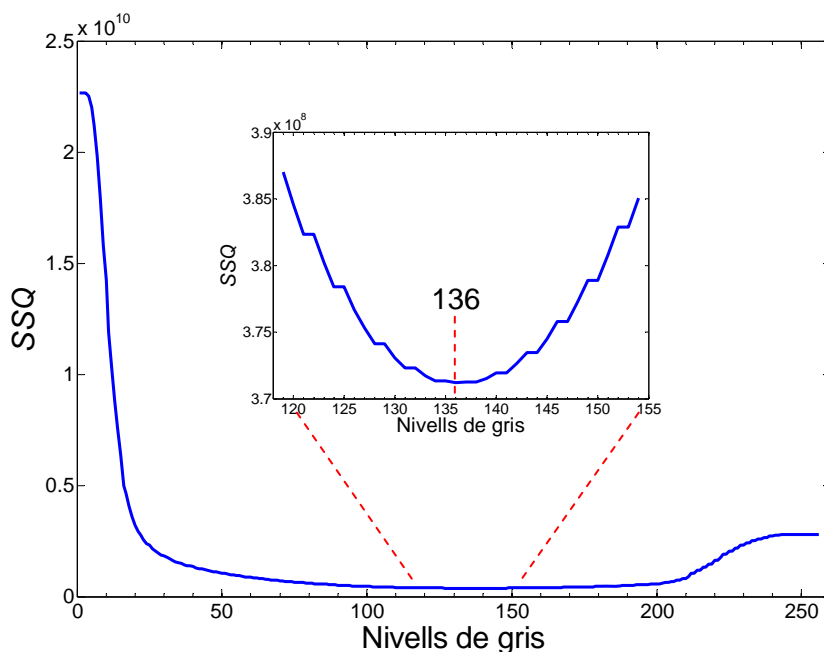
## 2.5 ALGORISME DE SEGMENTACIÓ PROPOSAT (*MSSQ*)

A fi d'intentar trobar un algorisme que proporcioni resultats satisfactoris per a totes les mostres de teixit, independentment del seu *FC*, es proposa un algorisme que consisteix en una variació de l'algorisme d'Otsu. En aquest cas, el procediment per llinaritzar automàticament la imatge es basa en el fet que la màxima intensitat de la imatge representa la intensitat dels píxels pertanyents als forats. La intensitat promig de l'àrea ocupada pels fils està relacionada amb la il·luminació i l'exposició, i ha de ser valorada a partir dels píxels restants. Per a cada llinar,  $L$ , en el càlcul de la suma dels quadrats dels residus per a la classe dels forats, es considera que el valor de referència és el màxim de la imatge. O sigui, per a cada nivell de gris  $L \in [0, 255]$ , s'avalua la suma dels residus al quadrat (*SSQ*) pertanyents als píxels dels fils i als píxels dels forats de la següent manera:

$$SSQ(L) = \sum_{i_p \leq L} (i_p - m(L))^2 + \sum_{i_p > L} (i_p - M)^2, \quad (2.5-1)$$

on  $i_p$  és el nivell de gris del píxel,  $m(L)$  és el promig dels nivells de gris menors o iguals que  $L$  i  $M$  és el nivell de gris màxim de la imatge. La quantitat  $M$  és la que diferencia aquest algorisme del d'Otsu ja que en aquest últim  $M$  és el promig dels nivells de gris majors que  $L$ . El primer terme del costat dret de (2.5-1) fa referència a la suma dels residus al quadrat corresponent a l'àrea coberta pels fils. El segon terme, que s'estén a tots els píxels amb intensitats més grans que  $L$ , fa referència a la suma del quadrat dels residus pertanyents a la classe dels forats. El llinar òptim és el que minimitza *SSQ* (per això, d'ara endavant anomenarem l'algorisme *MSSQ*). L'anterior vol dir que, per al llinar escollit, la variància intragrup es fa mínima (alhora que es maximitza la variància intergrup), el que implica que les classes són el més separades i cohesionades possible.

La fig. 2.5-1 mostra la representació de *SSQ* en front del nivell de gris per al teixit *fluix\_2*. Es pot veure que la corba presenta un mínim al nivell de gris 136. A la taula 2.5-1 es poden contrastar els valors de *FC* determinats amb l'algorisme proposat (*MSSQ*) i el criteri visual. La pràctica coincidència dels dos valors de *FC* ja apunta la idoneïtat d'aquest criteri automàtic de segmentació.

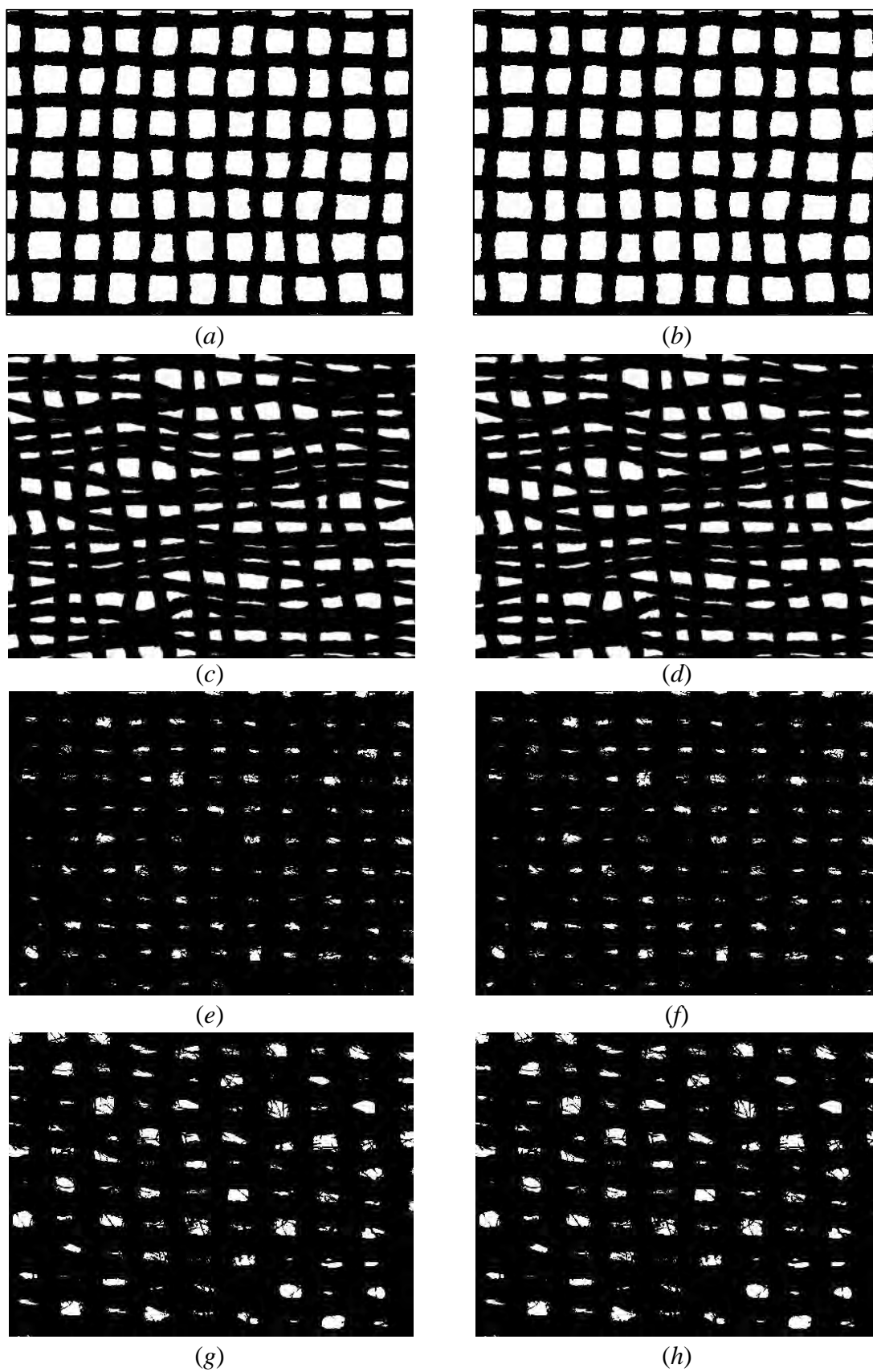


**FIGURA 2.5-1.** Representació de  $SSQ$  en front dels nivells de gris per a la mostra *flux\_2*.

<b>Imatge</b>	<b>Figura</b>	<b>Llindar <math>MSSQ</math></b>	<b><math>FC_{MSSQ}</math></b>	<b><math>FC_{visual}</math></b>
flux_1	2.4-1(b)	135	$0.591 \pm 0.001$	$0.595 \pm 0.008$
flux_2	2.4-3(b)	136	$0.828 \pm 0.001$	$0.813 \pm 0.008$
atapeït_1	2.4-5(b)	152	$0.971 \pm 0.001$	$0.972 \pm 0.008$
atapeït_2	2.4-7(b)	144	$0.932 \pm 0.001$	$0.931 \pm 0.008$

**TAULA 2.5-1.** Valors de llindar i  $FC$  per a les mostres *flux\_1*, *flux\_2*, *atapeït\_1* i *atapeït\_2*.

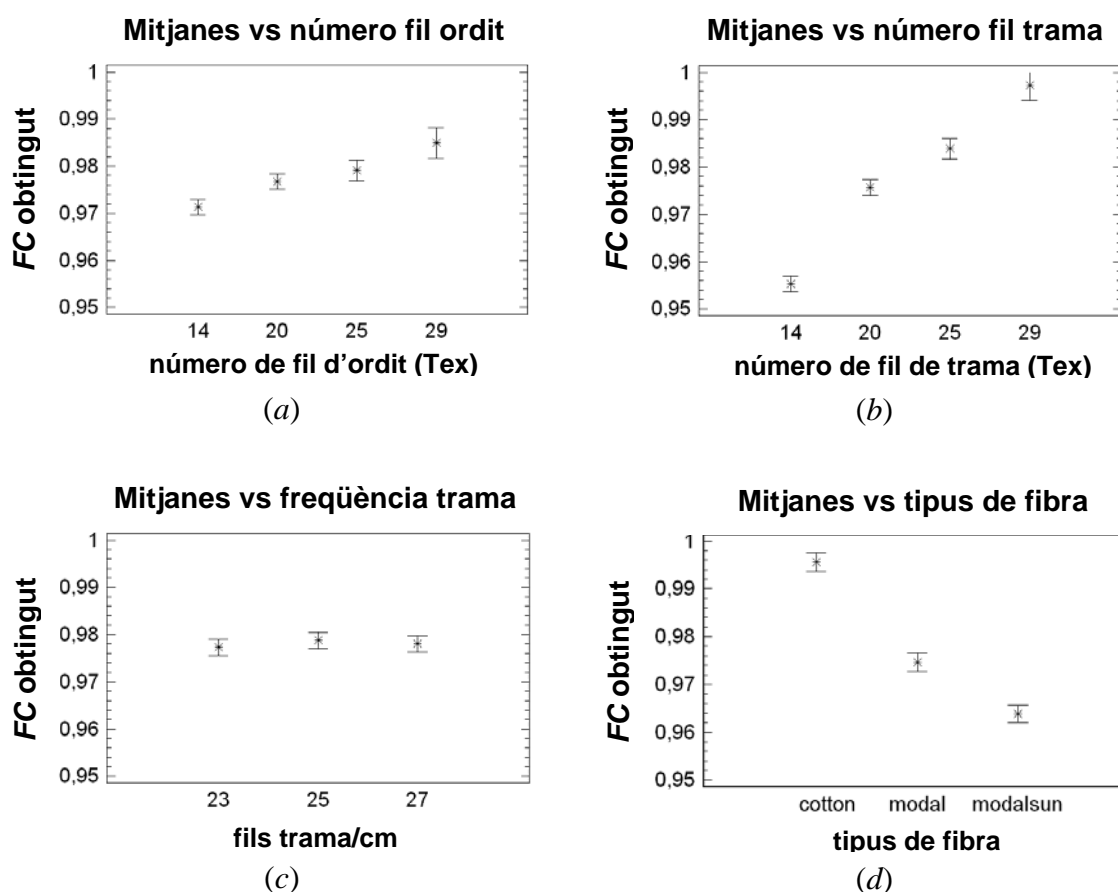
La fig. 2.5-1 mostra les imatges de les mostres *flux\_1*, *flux\_2*, *atapeït\_1* i *atapeït\_2* l·lindaritzades amb el mètode de mínima suma dels quadrats dels residus ( $MSSQ$ ) i el criteri visual. En elles es pot apreciar la gran coincidència entre la l·lindarització visual i pel mètode  $MSSQ$ , tant per a les mostres atapeïdes com per a les fluixes, cosa que assegura la classificació dels píxels tal i com ho faria un inspector visual. Aquest fet apunta la possibilitat de considerar el criteri de  $MSSQ$  com a un algorisme òptim per a la determinació del  $FC$  de teixits tèxtils correlacionat amb el valor obtingut visualment.



**FIGURA 2.5-2.** (a) i (b) Imatge *flux\_1* l·lindaritzada per l'algorisme *MSSQ* i el criteri visual, respectivament. (c) i (d) per a la imatge *flux\_2*. (e) i (f) per a la imatge *atapeït\_1*. (g) i (h) per a la imatge *atapeït\_2*.

## 2.6 APLICACIÓ DE L'ALGORISME *MSSQ* A MOSTRES ATAPEÏDES

S'ha aplicat l'algorisme *MSSQ* als tres conjunts de teixits tèxtils descrits a la taula 2.1.3-1. L'anàlisi de la relació entre els *FC* obtinguts i les característiques de fabricació dels teixits ha estat duta a terme mitjançant l'anàlisi de la variància. Els resultats representats a la fig. 2.6-1 mostren un comportament consistent dels valors mitjans de *FC*. Un increment dels números de fil tant per ordit com per trama comporten un increment de les mitjanes dels *FC* (p-valor < 0.0001), tal i com es mostra a les fig. 2.6-1(a) i 2.6-1(b). Les freqüències de trama no difereixen el suficient com per produir un canvi significatiu en les mitjanes dels *FC* (p-valor = 0.6741) (fig. 2.6-1(c)). El tipus de fibra també afecta els valors mitjans dels *FC* (p-valor < 0.0001) (fig. 2.6-1(d)).



**FIGURA 2.6-1.** Anàlisi de la variància, Relació entre les mitjanes dels *FC* mesurats i: (a) número de fil d'ordit; (b) número de fil de trama; (c) freqüència de trama; (d) tipus de fibra.



## 2.7 LLEI DE STEVENS

L'algorisme òptim per a la segmentació automàtica d'imatges de teixits serà el que millor correlacioni amb els resultats determinats visualment. El tipus de correlació ve indicat per la Llei de Stevens <sup>[Stev 1986]</sup>, la qual relaciona la magnitud d'un estímul físic (visual, auditiu, olfatiu, tàctil, gustatiu) i la magnitud de la sensació percebuda, segons l'equació:

$$\psi = \kappa \phi^\alpha, \quad (2.7-1)$$

on  $\psi$  és la magnitud sensorial,  $\phi$  és la magnitud de l'estímul físic,  $\kappa$  és una constant de proporcionalitat que depèn de les unitats utilitzades i  $\alpha$  és un exponent característic de l'estímul emprat. Si s'adopta la forma logarítmica de l'eq. (2.7-1), la correlació s'expressa com:

$$\log \psi = \log \kappa + \alpha \log \phi, \quad (2.7-2)$$

La sensació obtinguda dels estímuls físics que som capaços de percebre amb els nostres sentits, respon a aquesta relació i el seu ús està àmpliament estès en el camp de la Psicofísica. A la taula 2.7-1 hi ha alguns dels valors dels exponents obtinguts per Stevens en diferents continus (qualsevol cosa que passi per una transició gradual d'una condició, a una condició diferent, sense canvis bruscos). També hi hem destacat en vermell el continu de l'àrea visual d'un quadrat projectat ja que és el més similar al fet pels observadors a l'hora de determinar el llinar de les imatges dels teixits.

Recordant allò explicat a l'apartat 2.3, els 18 observadors van intentar igualar els forats magenta de la imatge dreta de la fig. 2.3-1 amb els forats blancs de la imatge de l'esquerra, és a dir, els factors d'obertura. Aleshores, tenint en compte que la fracció de superfície de la imatge ocupada pels forats ve determinada per  $(1 - FC)$ , l'expressió a ajustar per a cada algorisme, segons l'eq. (2.7-2), és

$$\log(1 - FC_{\text{visual}}) = \log \kappa + \alpha \log(1 - FC_{\text{algorisme}}), \quad (2.7-3)$$

on  $FC_{\text{visual}}$  és el promig dels valors de  $FC$  emesos per cada observador i  $FC_{\text{algorisme}}$  és el  $FC$  calculat amb l'algorisme de segmentació escollit.

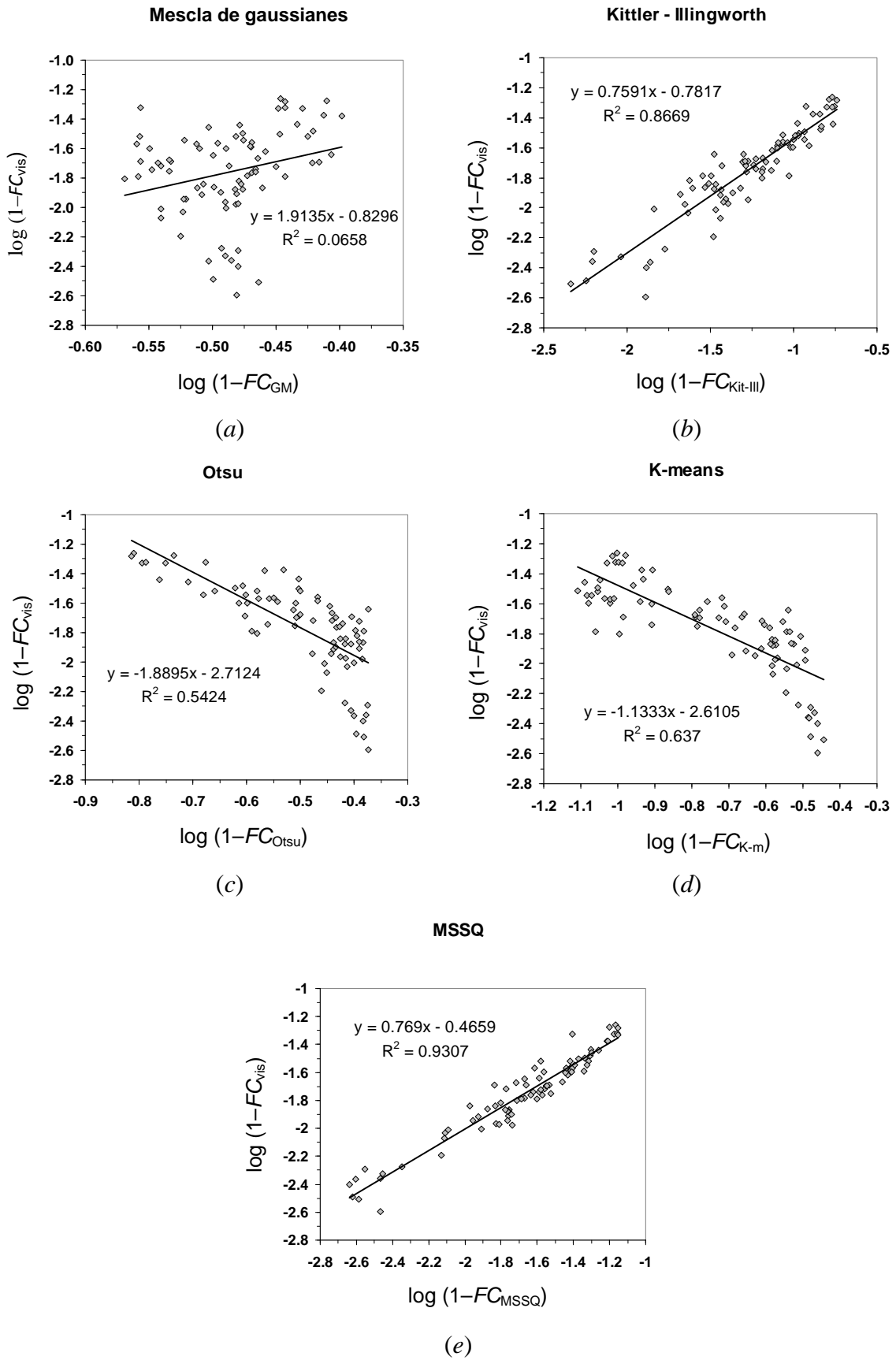
Continuum	Measured exponent	Stimulus condition
Loudness	0.67	Sound pressure of 3000-hertz tone
Vibration	0.95	Amplitude of 60 hertz on finger
Vibration	0.6	Amplitude of 250 hertz on finger
Brightness	0.33	5° Target in dark
Brightness	0.5	Point source
Brightness	0.5	Brief flash
Brightness	1.0	Point source briefly flashed
Lightness	1.2	Reflectance of gray papers
Visual length	1.0	Projected line
Visual area	0.7	Projected square
Redness (saturation)	1.7	Red-gray mixture
Taste	1.3	Sucrose
Taste	1.4	Salt
Taste	0.8	Saccharine
Smell	0.6	Heptane
Cold	1.0	Metal contact on arm
Warmth	1.6	Metal contact on arm
Warmth	1.3	Irradiation of skin, small area
Warmth	0.7	Irradiation of skin, large area
Discomfort, cold	1.7	Whole body irradiation
Discomfort, warm	0.7	Whole body irradiation
Thermal pain	1.0	Radiant heat on skin
Tactual roughness	1.5	Rubbing emery cloths
Tactual hardness	0.8	Squeezing rubber
Finger span	1.3	Thickness of blocks
Pressure on palm	1.1	Static force on skin
Muscle force	1.7	Static contractions
Heaviness	1.45	Lifted weights
Viscosity	0.42	Stirring silicone fluids
Electric shock	3.5	Current through fingers
Vocal effort	1.1	Vocal sound pressure
Angular acceleration	1.4	5-Second rotation
Duration	1.1	White noise stimuli

**TAULA 2.7-1.** Taula extreta de la referència [Stev 1986] contenint els exponents representatius de les funcions potencials que relacionen la magnitud subjectiva amb la magnitud de l'estímul.

## 2.8 CONCORDANÇA AMB LA SEGMENTACIÓ VISUAL

Cada observador va avaluar els factors d'obertura corresponents al total de les 81 mostres descrites a la taula 2.1.3-1. Els *FC* promig producte de les valoracions visuals així com els *FC* obtinguts amb el mètode *MSSQ* es troben a l'Annex I. A la fig. 2.8-1 es troben representades les correlacions entre els valors dels factors d'obertura ( $1 - FC$ ) obtinguts amb els diferents algorismes de segmentació automàtica exposats als apartats 2.4 i 2.5 i els obtinguts visualment, segons l'eq. (2.7-3).

Hom pot copsar que, dels 5 mètodes de segmentació automàtica utilitzats per a la determinació del *FC*, els dos que tenen l'exponent més proper a 0.7 són els de Kittler-Illingworth i *MSSQ* i, dintre d'aquests dos últims, el que obté un grau més elevat de correlació és el *MSSQ* ( $R^2$  igual a 0.9307 en front de 0.8669). Amb l'algorisme de segmentació automàtica proposat a l'apartat 2.5, es pot assegurar l'obtenció del *FC*, a partir d'imatges de teixits, que aconsegueix la màxima concordança amb el criteri visual respecte als altres mètodes de segmentació considerats.



**FIGURA 2.7-1.** Comprovació de la llei de Stevens per a diversos criteris de segmentació: (a) Mescla de gaussianes, (b) Kittler-Illingworth, (c) Otsu, (d) K-means i (e) Mínima suma dels quadrats dels residus (MSSQ).



## 3. FACTORS DE COBERTURA PARCIALS

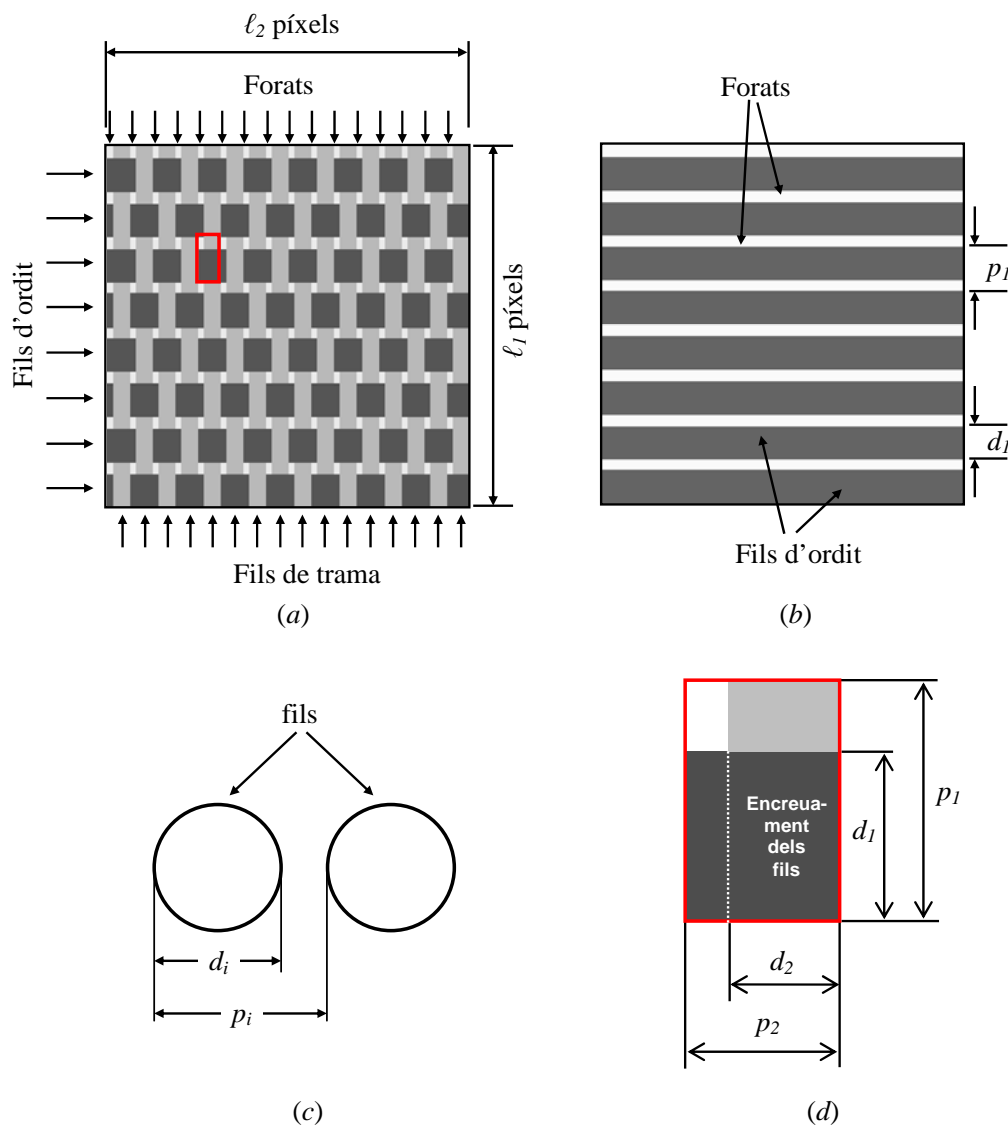
El factor de cobertura total resulta de les contribucions individuals dels fils de trama, per una banda, i dels d'ordit per l'altra. En aquest capítol valorarem aquestes dues contribucions individualitzadament a partir de la imatge del teixit complet. Ho farem de tal manera que hi hagi concordança exacta entre el factor de cobertura total analitzat en el capítol anterior i els factors de cobertura parcials de trama i d'ordit que es detallen en aquest.

Al capítol 2 ja hem posat de manifest la importància de calcular el  $FC$  dintre d'una finestra de dimensions múltiple enter dels períodes d'ordit i de trama. Les mostres de teixit emprades solen presentar petites desviacions del paral·lelisme dels fils respecte les vores de la imatge. Per tal de localitzar automàticament el primer harmònic d'ordit i de trama, i poder calcular el valor dels períodes respectius, aplicarem la transformada de Radon a l' $EP$ . Un cop determinades les direccions dels harmònics d'ordit i de trama, és immediata la localització automàtica del primer harmònic que conduirà a la determinació del valor dels períodes respectius. D'altra banda, el coneixement de les direccions dels harmònics d'ordit i de trama facilitarà el disseny d'uns filtres passabanda que, aplicats a la  $TF$  i fent la transformada inversa, permetran separar els fils d'ordit dels de trama i viceversa. Les imatges filtrades es llindaritzaran amb el mètode de segmentació  $MSSQ$ , de les que se'n derivaran unes primeres estimacions dels  $FC$  d'ordit i de trama. Aquestes estimacions preliminars no concorden exactament amb el  $FC$  total però assumim que indiquen la proporcionalitat existent entre els dos  $FC$  parcials. Les estimacions definitives dels  $FC$  parcials resulten de les preliminars i són els respectius múltiples que concorden amb el  $FC$  total i que conserven la mateixa proporcionalitat entre ells.

Les imatges dels teixits presenten una certa vellositat o borrisol que no contribueix al càlcul de l'amplada del fil teixit. Per al seu càlcul, partirem d'un  $FC^0$  total calculat a partir de la imatge binaritzada del teixit a la que se li ha llevat el borrisol mitjançant un operador de tancament. Repetint el mateix procés anterior amb aquesta imatge, determinarem uns  $FC$  parcials lliures, també, de la contribució del borrisol que conduiran a l'estimació de l'amplada del fil teixit.

### 3.1 DEFINICIONS

Comencem definint el període dels fils,  $p_i$ , amb  $i = 1$  (ordit) ó 2 (trama), com la distància entre dos fils consecutius (fig. 3.1-1). A continuació es defineixen les freqüències d'ordit ( $i = 1$ ) i de trama ( $i = 2$ ),  $f_i = 1/p_i$ , com el nombre de fils per unitat de longitud (normalment cm) que hi ha en les dues direccions anteriors, o sigui, l'invers del període.



**FIGURA 3.1-1.** (a) Model de teixit de plana on hi hem emmarcat en vermell la unitat mínima per al càlcul del FC. (b) Fils d'ordit, diàmetre ( $d_1$ ) i distància entre fils o període de trama ( $p_1$ ). (c) Secció transversal d'ordit o de trama: diàmetre dels fils ( $d_i$ ) i distància entre fils o període ( $p_i$ ). (d) Ampliació del rectangle vermell de la fig. (a) contenint 1 període de trama i 1 d'ordit.

Recordem que el  $FC$  d'un teixit (o factor de cobertura total) és la relació entre l'àrea ocupada per la projecció dels fils i la superfície de teixit considerada. El  $FC$  parcial d'ordit ( $i = 1$ ) o de trama ( $i = 2$ ), o  $FC_i$ , es la fracció de superfície coberta pels fils d'ordit o els de trama. Es calcula mitjançant l'expressió <sup>[Peir 1937; Mark 1993]</sup>:

$$FC_i = \frac{d_i}{p_i} \quad (3.1-1)$$

on  $d_i$  és l'amplada de la projecció ortogonal del fil teixit, d'ara endavant anomenada diàmetre, i  $p_i$  la longitud del període.

El valor del  $FC$  del teixit es pot calcular a partir del valor dels  $FC$  parcials de la següent manera:

$$FC = \frac{SF_1}{ST} + \frac{SF_2}{ST} - \frac{SF_1 \cap SF_2}{ST}, \quad (3.1-2)$$

on,  $ST$  és la superfície total ocupada pel teixit (fils + forats),  $SF_1$  és la superfície coberta pels fils d'ordit,  $SF_2$  és la superfície coberta pels fils de trama i  $SF_1 \cap SF_2$  és la superfície coberta alhora pels fils d'ordit i de trama. El teixit ocupa una àrea  $\ell_1 \times \ell_2$  (fig. 3.1-1(a)). D'altra banda, el nombre total de fils d'ordit és:

$$n_1 = \frac{\ell_1}{p_1}, \quad (3.1-3)$$

on  $p_1$  és el període de l'ordit i  $\ell_1$  l'amplada ocupada pels fils d'ordit o longitud dels fils de trama. El nombre total de fils de trama és:

$$n_2 = \frac{\ell_2}{p_2}, \quad (3.1-4)$$

on  $p_2$  és el període de la trama i  $\ell_2$  l'amplada ocupada pels fils de trama o longitud dels fils d'ordit. El  $FC$  total del teixit és:

$$SF_1 = n_1 d_1 \ell_2, \quad (3.1-5)$$

$$SF_2 = n_2 d_2 \ell_1, \quad (3.1-6)$$

$$ST = \ell_1 \ell_2, \quad (3.1-7)$$

$$SF_1 \cap SF_2 = n_1 n_2 d_1 d_2. \quad (3.1-8)$$

Substituint (3.1-3), (3.1-4), (3.1-5), (3.1-6), (3.1-7) i (3.1-8) a (3.1-2) obtenim:

$$FC = \frac{d_1}{p_1} + \frac{d_2}{p_2} - \frac{d_1 d_2}{p_1 p_2} = FC_1 + FC_2 - FC_1 FC_2 \quad (3.1-9)$$

on  $FC$  és el factor de cobertura total del teixit i  $FC_1$  i  $FC_2$  són els factors de cobertura d'ordit i de trama respectivament. Així doncs, l'eq. (3.1-9) expressa el  $FC$  total del teixit com a suma dels  $FC$  d'ordit i de trama, restant-li una vegada el  $FC$  degut a la intersecció dels fils, a fi de no comptabilitzar-lo per duplicat. L'eq. (3.1-9) ens permet calcular el factor de cobertura total del teixit a partir del coneixement dels diàmetres dels fils i dels períodes (fig. 3.1-1(d)).

Fixem-nos que les expressions introduïdes en aquest apartat s'acompleixen també si en lloc d'utilitzar unitats mètriques per a les longituds utilitzem per unitat el píxel, ja que es passa de les primeres a les segones multiplicant per una constant.

## 3.2 LA TRANSFORMADA DE RADON

La transformada de Radon <sup>[Dean 1983]</sup>,  $TR$ , és una transformada integral introduïda per Johann Radon l'any 1917 per descriure un objecte bidimensional,  $f(x, y)$ , a partir de les seves projeccions al llarg d'un feix de raigs paral·lels, entre les orientacions de  $0^\circ$  i  $180^\circ$ . La  $TR$  de la funció  $f(x, y)$  és la integral de línia de  $f(x, y)$  paral·lela a  $y'$ . Es defineix com:

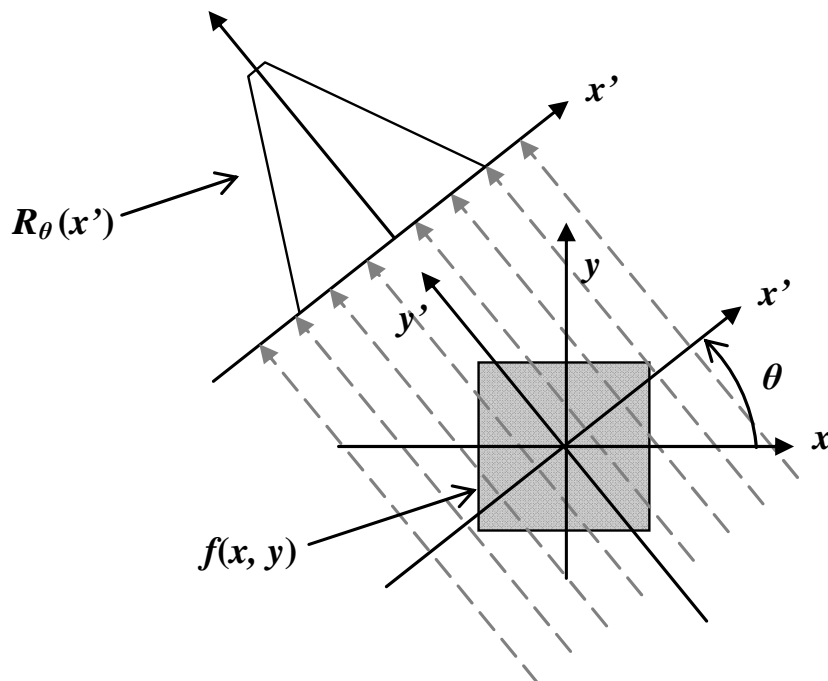
$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy', \quad (3.2-1)$$



on

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}. \quad (3.2-2)$$

$R_\theta(x')$  és la integral de línia al llarg de la recta, amb pendent igual a  $\tan(90^\circ + \theta)$ , que passa a la distància  $x'$  de l'origen. Fixant el valor de l'angle i fent variar la distància a l'origen, resulta un feix de rectes paral·leles que es mostren discontinües a la fig. 3.2-1. És immediat observar que totes aquestes rectes formen el mateix angle  $\theta$  amb l'eix vertical. La funció  $R_\theta(x')$  rep el nom de sinograma.



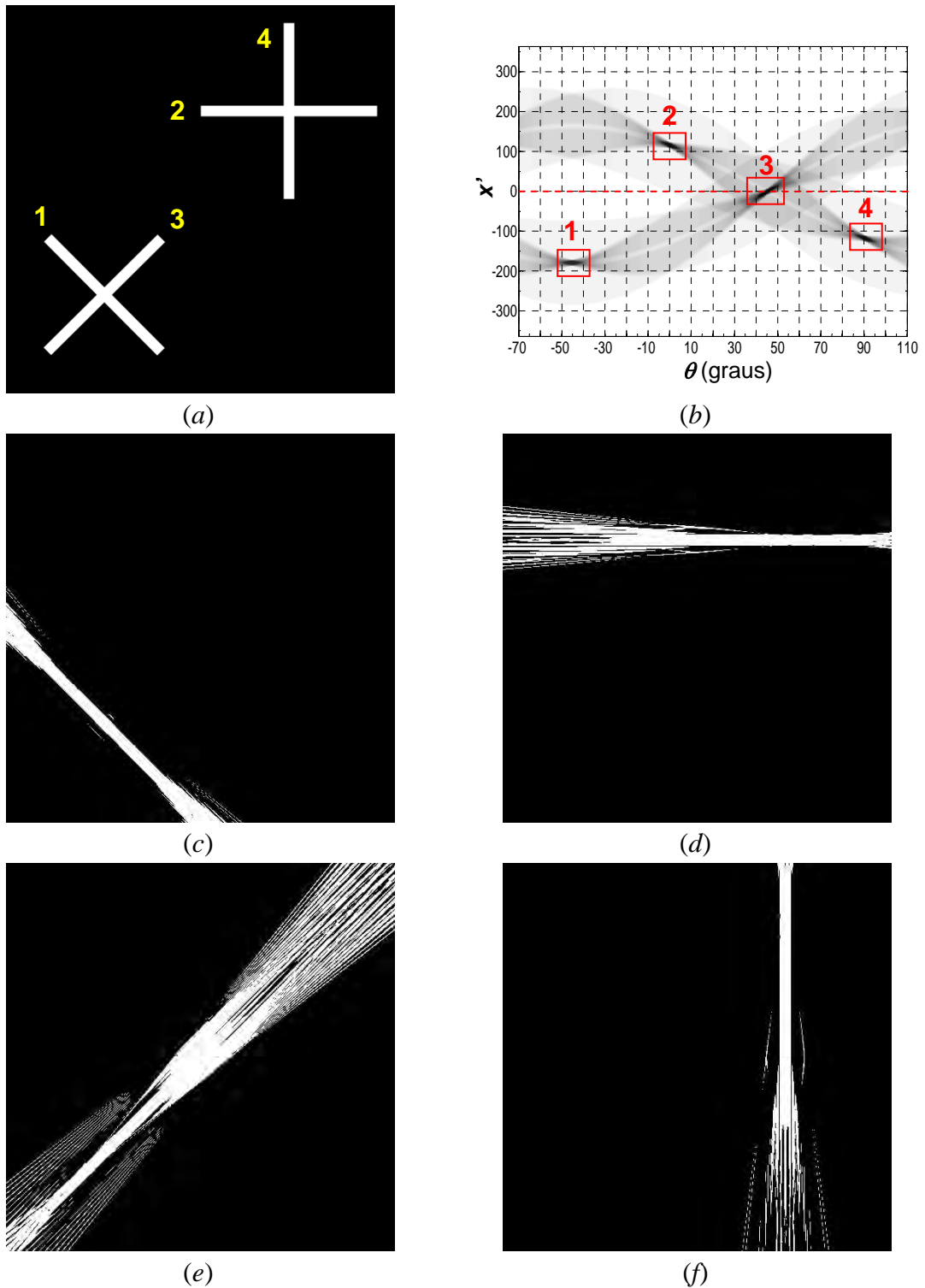
**FIGURA 3.2-1.** Geometria de la transformada de Radon. Projectió d'una funció a través d'un feix de rectes paral·leles.

Es possible reconstruir la imatge a partir del sinograma, aplicant-li la *TR* inversa, la qual s'utilitza per reconstruir imatges a partir de tomografies axials computeritzades. Hi ha diverses tècniques per al càlcul de la *TR* inversa però la més comú és la retroprojectió filtrada que ve implementada en els programaris de processament d'imatges. Així doncs, l'expressió de la retroprojectió és:

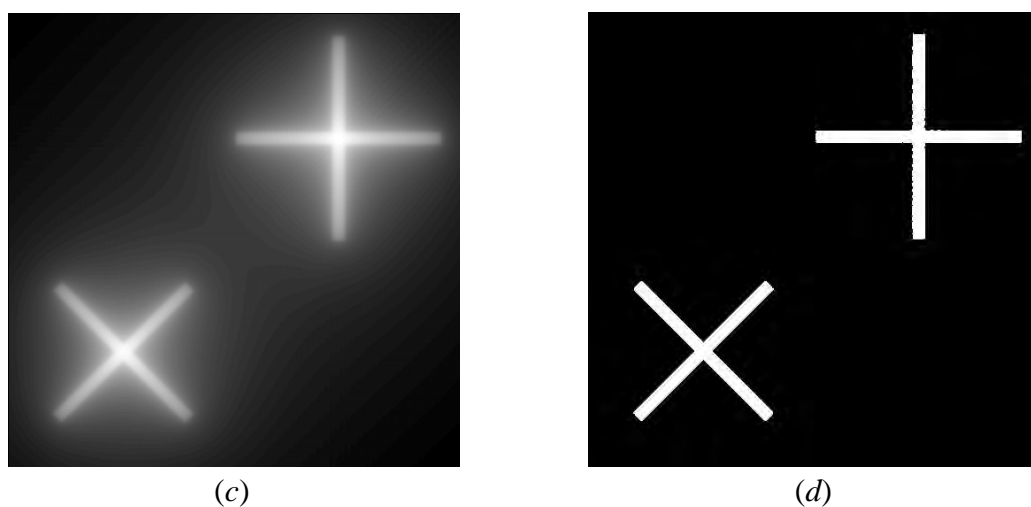
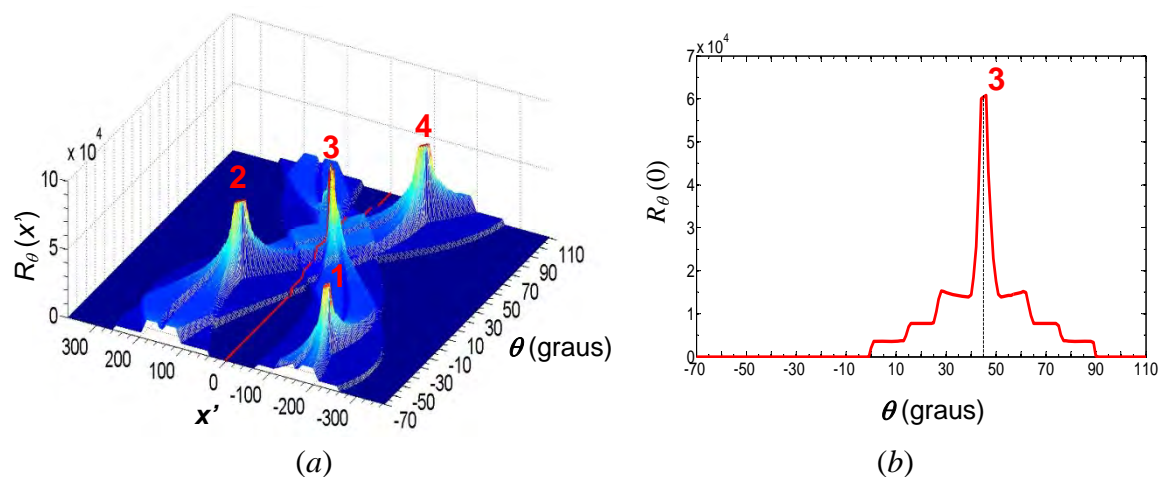
$$\tilde{f}(x, y) = \int_0^\pi R(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta, \quad (3.2-3)$$

on  $\tilde{f}(x, y)$  és la projecció inversa la qual no és exactament igual a la imatge original perquè es veu afectada per una borrositat deguda a l'algorisme de retroprojecció. Cal, posteriorment, aplicar un filtre d'enfocament per tal de recuperar al màxim la imatge original. Nosaltres estem interessats en la utilitat de la *TR* per detectar les direccions de les línies que es troben a la imatge, tal i com veurem al punt 3.3 <sup>[Besc 2005; Hump 2005]</sup>. A la fig. 3.2-2 hi ha exemplificat tot el descrit abans. La fig. 3.2-2(a) mostra una imatge original, contenint dues creus amb els braços orientats a  $0^\circ$  i  $90^\circ$  i a  $+45^\circ$  i  $-45^\circ$  respectivament. La fig. 3.2-2(b) conté el perfil d'intensitats invertit de la *TR* de la fig. 3.2-2(a) on s'hi aprecien 4 màxims, corresponents a les 4 orientacions presents a la imatge original. Una manera de comprovar a quina de les direccions de la imatge original correspon cada màxim del sinograma, seria fer la *TR* inversa tenint en compte només els punts del sinograma relatius als màxims, de manera separada.

A la fig. 3.2-2(b) hem enquadrat els punts que tindrem en compte al voltant de cada màxim per fer la retroprojecció de manera independent per a cadascun d'ells. La *TR* inversa calculada assignant 0 a tots els punts externs al rectangle 1 de la fig. 3.2-2(b) dona la imatge de la fig. 3.2-2(c), corresponent al braç 1 de la imatge original, orientat a  $-45^\circ$ . La *TR* inversa originada a partir dels punts del rectangle 2 de la fig. 3.2-2(b) la podem observar a la fig. 3.2-2(d), corresponent al braç 2 de la imatge original, orientat a  $0^\circ$ . Les *TR* inverses dels rectangles 3 i 4 de la fig. 3.2-2(b) es troben a les fig. 3.2-2(e) i (f) i corresponen al braços 3 ( $+45^\circ$ ) i 4 ( $90^\circ$ ). Les reconstruccions identifiquen clarament les direccions corresponents. Adonem-nos que el màxim de la *TR* corresponent al braç 3 es troba contingut a la fila central del sinograma (fig. 3.2-2(b) i 3.2-3(a) i (b)). El braç 3 apunta al centre de la imatge. Qualsevol altra recta que apuntés al centre de la imatge, generaria un màxim que es trobaria localitzat a la fila central del sinograma. Aquesta propietat ens serà molt útil per a localitzar les direccions dels harmònics d'òrbit i de trama a l'*EP*, tal i com veurem al punt 3.3.



**FIGURA 3.2-2.** (a) Imatge original. (b) Mapa d'intensitats invertit de la  $TR (R_{\theta}(x'))$  de la imatge (a). (c)  $TR$  inversa del rectangle 1 del sinograma (b). (d)  $TR$  inversa del rectangle 2 del sinograma (b). (e)  $TR$  inversa del rectangle 3 del sinograma (b). (f)  $TR$  inversa del rectangle 4 del sinograma (b)



**FIGURA 3.2-3.** (a) Representació tridimensional del sinograma de la fig. 3.2-2(b). (b) Fila central del sinograma de la fig. 3.2-2(b). (c) Retroprojecció del sinograma de la fig. 3.2-2(b). (d) Enfocament de la fig. (c).

La fig. 3.2-3(a) presenta el gràfic 3D de la fig. 3.2-2(b), on es veu dibuixada en vermell la secció corresponent a la fila central. Tal secció es representa a la fig. 3.2-3(b), on es pot comprovar que la posició del màxim és per a l'orientació de  $45^\circ$ , corresponent al braç 3.

### 3.3 APLICACIÓ DE LA TRANSFORMADA DE RADON A L'ESPECTRE DE POTÈNCIES PER DETERMINAR LES DIRECCIONS DE TRAMA I D'ORDIT

Fins ara, en les imatges de teixits considerades, els fils d'ordit i de trama han estat ortogonals entre sí i, a més, paral·lels a les vores del marc d'enquadrament (fig. 3.3-1(a)). Això fa que els pics d'intensitat de les freqüències dels fils d'ordit i de trama dels seus *EP* estiguin col·locats en la direcció de  $0^\circ$  els de trama i en la de  $90^\circ$  els d'ordit (fig. 3.3-1(a)). Aquesta seria la condició òptima per a la fàcil localització dels esmentats pics. És, però, corrent que la situació anterior no es doni degut a les següents causes:

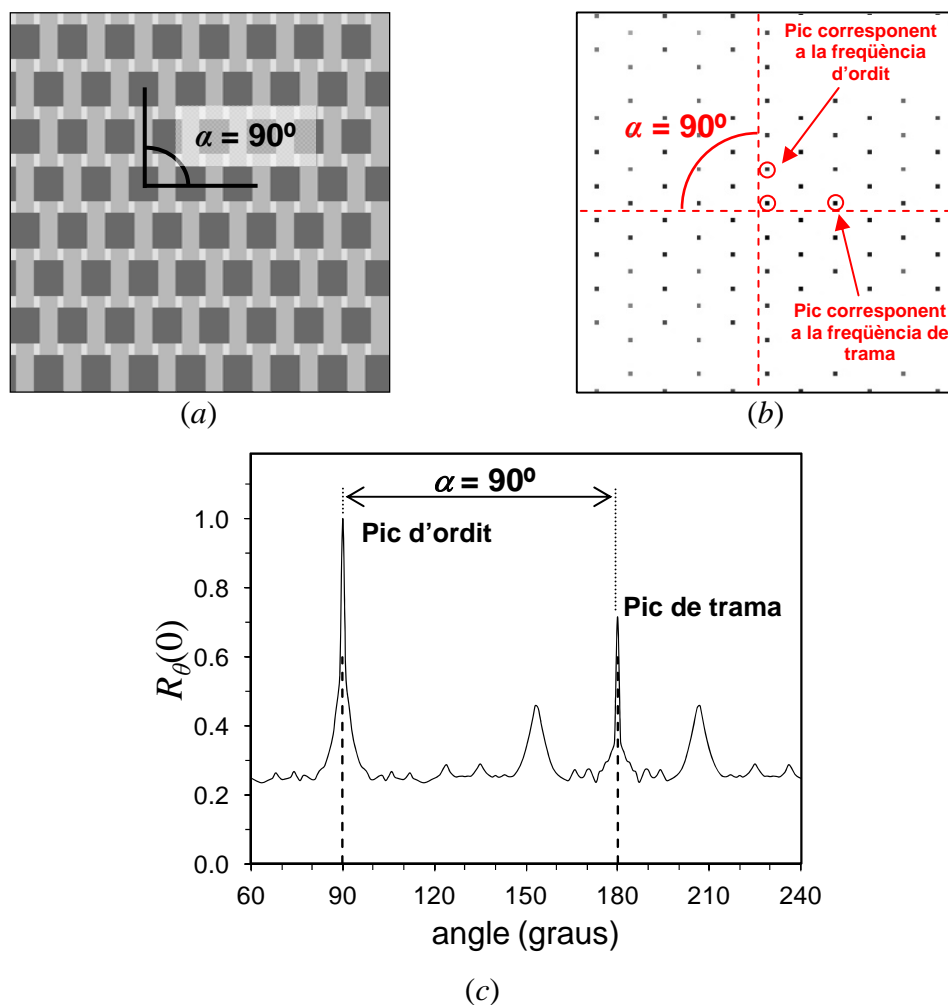
- Ordit i trama no són ortogonals entre sí, condició coneguda com a biaix (fig. 3.3-2(a)). En passar això, com a molt, només una de les dues famílies de fils pot ser paral·lela a una de les vores de la imatge. Sigui  $\alpha$  l'angle més petit que formen les direccions d'ordit i de trama d'un teixit. L'angle del biaix,  $\beta$ , es defineix com  $\beta = 90^\circ - \alpha$ .
- La mostra té l'ordit i la trama ortogonals però, a l'hora de la presa de la imatge, pot haver estat mal orientada respecte les vores de l'enquadrament (fig. 3.3-3(a)). En aquest cas, ni ordit ni trama són paral·lels a les vores de la imatge.
- I finalment, poden passar les dues situacions anteriors: presentar la mostra biaix i estar mal orientada a l'hora de la presa fotogràfica.

La primera determinació del biaix a partir de l'*EP* de la imatge d'un teixit va ser realitzada per Bugao Xu <sup>[Xu 1996]</sup> mitjançant la mesura manual de les coordenades del primer harmònic en les direccions d'ordit i trama. Anys més tard, Cardamone <sup>[Card 2002]</sup> continuava fent la mesura del biaix sobre l'*EP* de manera manual. Escofet <sup>[Esco 1999]</sup>, però, va mesurar les orientacions de trama i ordit, de manera automàtica, fent sumes radials en l'*EP* i identificant els pics relatius a les orientacions dels fils.

També es pot mesurar l'orientació dels fils al domini imatge. Kang <sup>[Kang 2001]</sup> determinava perfils promig de la imatge del teixit per a les orientacions entre  $0^\circ$  i  $180^\circ$ . Els perfils que donaven els mínims més marcats eren els pertanyents a les orientacions dels fils.

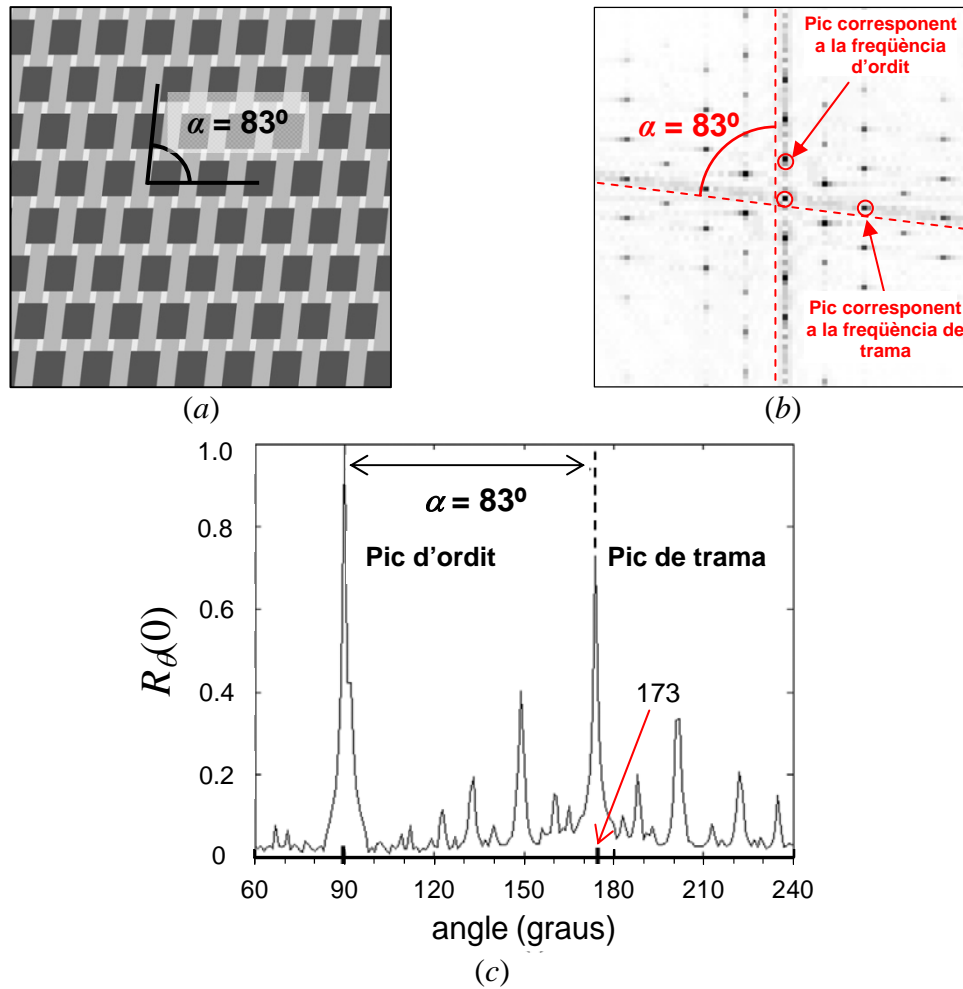
De tota manera, més que el biaix, a nosaltres ens interessa tenir identificada l'orientació de les freqüències d'ordit i de trama per tal de localitzar el primer harmònic de cadascuna d'elles. Amb aquesta finalitat hem aplicat la *TR* a l'*EP*. Malgrat no contenir línies contínues aquest últim, una seqüència de punts arreglats i, per tant, la seva orientació, també serà quelcom detectable mitjançant la *TR*.

Quan apliquem la *TR* a l'*EP* d'un model de teixit (fig. 3.3-1(a)), els valors  $R_{\theta}(\theta)$  (representant els angles en l'interval  $60^{\circ} \leq \theta \leq 240^{\circ}$ ) són les integrals de línia que passen pel *dc term* – l'origen de coordenades de l'*EP* – (fig. 3.3-1(c)). Com que la direcció vertical de l'*EP* (fig. 3.3-1(b)) conté els màxims d'intensitat corresponents a les freqüències d'ordit,  $R_{\theta}(\theta)$  (amb  $60^{\circ} \leq \theta \leq 240^{\circ}$ ) presenta un màxim local en la direcció de  $90^{\circ}$ . Anàlogament, s'identifica un segon màxim local en la direcció horitzontal  $\theta = 180^{\circ}$ , corresponent als fils de trama (fig. 3.3-1(c)). Aquests dos pics ens serviran per detectar les direccions de trama i ordit en un teixit real.



**FIGURA 3.3-1.** (a) Simulació d'un teixit de plana sense biaix i correctament orientat. (b) *EP*. (c)  $R_{\theta}(\theta)$ .

La fig. 3.3-2(a) presenta la imatge d'un model de teixit de plana, amb un biaix de  $7^{\circ}$ . És a dir, l'angle entre els fils de trama i d'ordit és de  $83^{\circ}$ , valor que queda palès al seu *EP* (fig. 3.3-2(b)) i a la projecció de Radon a través del *dc term* ( $R_{\theta}(\theta)$ ) (fig.3.3-2(c)). L'orientació dels màxims freqüencials d'ordit és a  $90^{\circ}$  i els de trama a  $173^{\circ}$ .



**FIGURA 3.3-2.** (a) Simulació d'un teixit de plana amb biaix. (b) EP. (c)  $R_d(0)$ .

Pel que fa a la fig. 3.3-3(a), es tractaria d'un model de teixit mancat de biaix però rotat respecte les vores de la imatge. L'ortogonalitat dels dos conjunts de fils és ben evident al seu EP (fig 3.3-3(b)) i també a la representació de la projecció de Radon a través del *dc term* (fig. 3.3-3(c)), on es pot comprovar que les orientacions dels màxims freqüencials d'ordit i de trama són, respectivament,  $95^\circ$  i  $185^\circ$ .

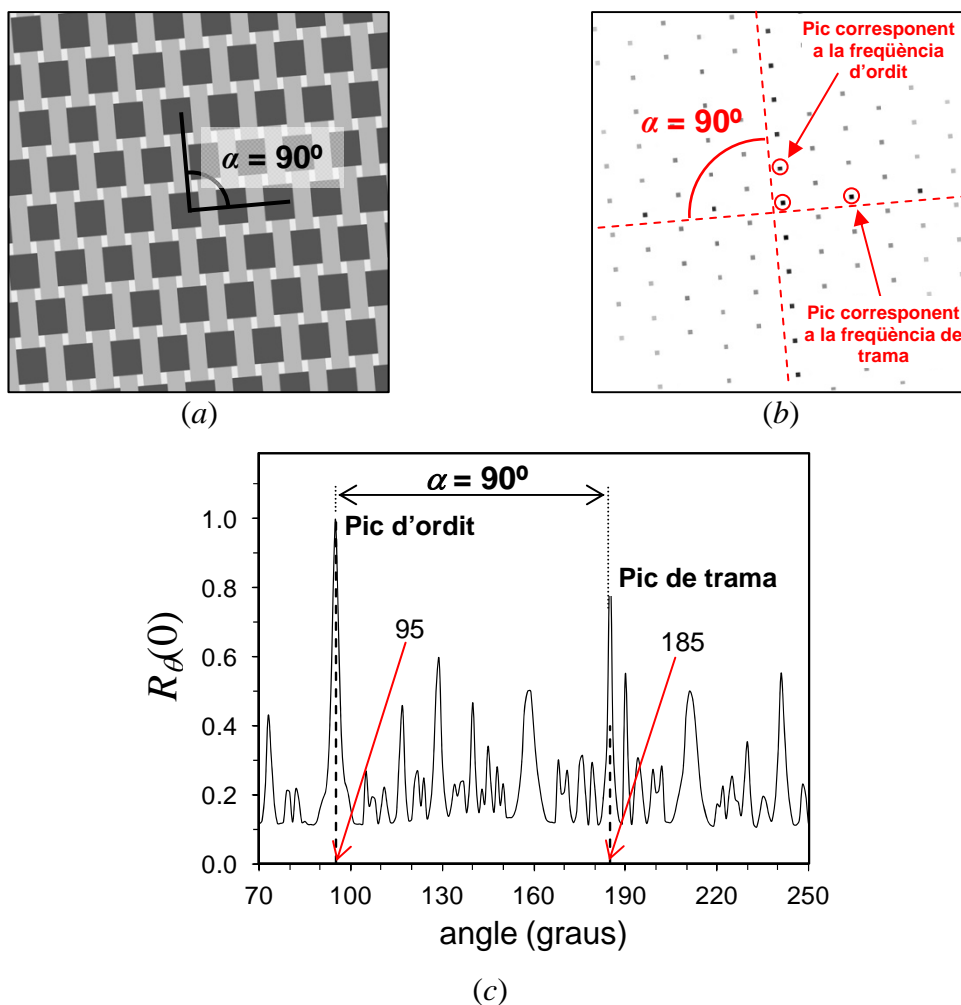


FIGURA 3.3-3. (a) Simulació d'un teixit de plana sense biaix però mal orientat. (b) EP. (c)  $R_d(0)$ .

### 3.4 CÀLCUL EXACTE DELS PERÍODES. RETALLADA DE LA IMATGE CONTENINT UN NOMBRE EXACTE DE PERÍODES

Un cop determinada l'orientació de les direccions de les freqüències de trama i d'ordit amb la *TR* aplicada a l'*EP*, és immediata la localització del primer harmònic al llarg de cadascuna d'elles. Degut a l'augment utilitzat per a la captació de les imatges de les mostres de teixit, el nombre de fils continguts a la imatge és com a molt d'uns 10. Aleshores, per allò explicat a l'apartat 2.2.2, la distància en píxels entre el *dc term* i el 1r harmònic és el nombre de períodes continguts a la imatge, o sigui, com a molt 10. D'altra banda, de manera general, les imatges dels teixits contenen un nombre no enter de períodes i tampoc no són exactament periòdiques. Per això, en l'*EP*, l'energia de cadascun del màxims freqüencials no es concentra en un sol píxel sinó que està escampada entre uns quants d'adjacents. En aquesta situació (poca distància entre *dc term*

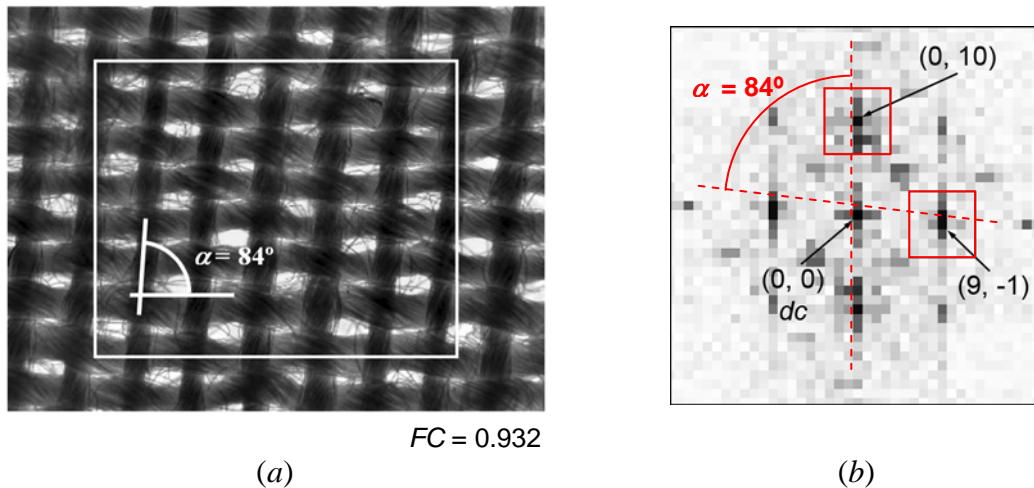


i el 1r harmònic i la deslocalització dels màxims freqüencials) es fa necessari, per al càlcul precís del nombre de cicles continguts en la imatge, determinar la posició del 1r harmònic per centre de masses. La finestra utilitzada per realitzar aquest càlcul és de forma quadrada, de 7 píxels de costat, centrada al 1r màxim freqüencial. Les coordenades  $(x_{CM}^i, y_{CM}^i)$  d'aquests centres de masses són:

$$x_{CM}^i = \frac{\sum_{k=y_0^i-3}^{y_0^i+3} \sum_{j=x_0^i-3}^{x_0^i+3} j g_{jk}^i}{\sum_{k=y_0^i-3}^{y_0^i+3} \sum_{j=x_0^i-3}^{x_0^i+3} g_{jk}^i}, \quad y_{CM}^i = \frac{\sum_{k=y_0^i-3}^{y_0^i+3} \sum_{j=x_0^i-3}^{x_0^i+3} k g_{jk}^i}{\sum_{k=y_0^i-3}^{y_0^i+3} \sum_{j=x_0^i-3}^{x_0^i+3} g_{jk}^i}, \quad (3.4-1)$$

on l'índex  $i = 1$  ó  $2$  segons sigui ordit o trama, respectivament,  $(j^i, k^i)$  són les coordenades de cadascun dels píxels continguts dintre de la finestra,  $g_{jk}^i$  el seu nivell de gris, i  $(x_0^i, y_0^i)$  són les coordenades del pic corresponent al primer harmònic. Aleshores, la distància  $n_i$  entre el centre de masses del primer harmònic d'ordit o trama i el *dc term* és:

$$n_i = \max\{x_{CM}^i, y_{CM}^i\}. \quad (3.4-2)$$



**FIGURA 3.4-1.** (a) Imatge d'un teixit esbiaixat . El rectangle inclou un nombre enter de períodes. (b) Part central de l'EP de la imatge (a) mostrant, en vermell, les finestres utilitzades per al càlcul del centre de masses del primer harmònic en les direccions d'ordit i de trama.

D'aquesta manera, el nombre complet de períodes continguts en la imatge, en cada direcció, és  $[n_i]$ , on  $[.]$  representa la part entera de  $n_i$ . Recordant que els períodes es calculen com (eq. 3.1-3 i 3.1-4)  $p_i = \ell_i / n_i$  ( $i = 1, 2$ ), les dimensions de la regió més gran,

dins de la imatge de la mostra de roba, contenint un nombre enter de períodes en les dues direccions són  $\ell'_1 \times \ell'_2 = [n_1] \cdot p_1 \times [n_2] \cdot p_2$ . Llavors, la imatge inicial es talla satisfent les mides d'aquesta finestra o les dimensions enteres més properes menys 1 període complet per banda a fi de, com veurem a l'apartat 3.5, evitar els efectes de vora de les imatges filtrades.

A continuació descrivim, de manera detallada, l'avaluació de  $n_i$  per a la mostra de la fig. 3.4-1(a). Si situem l'origen de coordenades al *dc term* del seu EP, la posició del pic situat a la seva dreta és (9, -1) (trama) i la posició del pic que es troba per damunt seu és (0, 10) (ordit) (fig. 3.4-1(b)). D'acord amb les eq. (3.4-1) per al càlcul del centre de masses del primer harmònic d'ordit i de trama i (3.4-2), aquests resulten ser en els punts  $(-0.06, 9.57) \pm 0.02$  píxels i  $(8.93, -0.78) \pm 0.02$  píxels. Les distàncies entre aquests centres de masses i el *dc term* són  $n_1 = 9.57 \pm 0.02$  píxels i  $n_2 = 8.93 \pm 0.02$  píxels. Recordem que aquests valors coincideixen amb el nombre de cicles complets (fil + forat) continguts en la imatge en les direccions d'ordit i de trama. Aïllant  $p_i$  de les eq. (3.1-3) i (3.1-4), la longitud dels períodes és  $p_1 = (40.0 \pm 0.1)$  píxels i  $p_2 = (57.2 \pm 0.1)$  píxels o bé, en longituds,  $p_1 = (0.271 \pm 0.004)$  mm i  $p_2 = (0.383 \pm 0.006)$  mm (1 = ordit i 2 = trama). Seguidament, per tenir un nombre enter de períodes en la imatge, aquesta s'ha retallat, tenint finalment  $\ell'_1 = 279$  files i  $\ell'_2 = 343$  columnes, les contingudes al rectangle de la fig. 3.3-1(a).

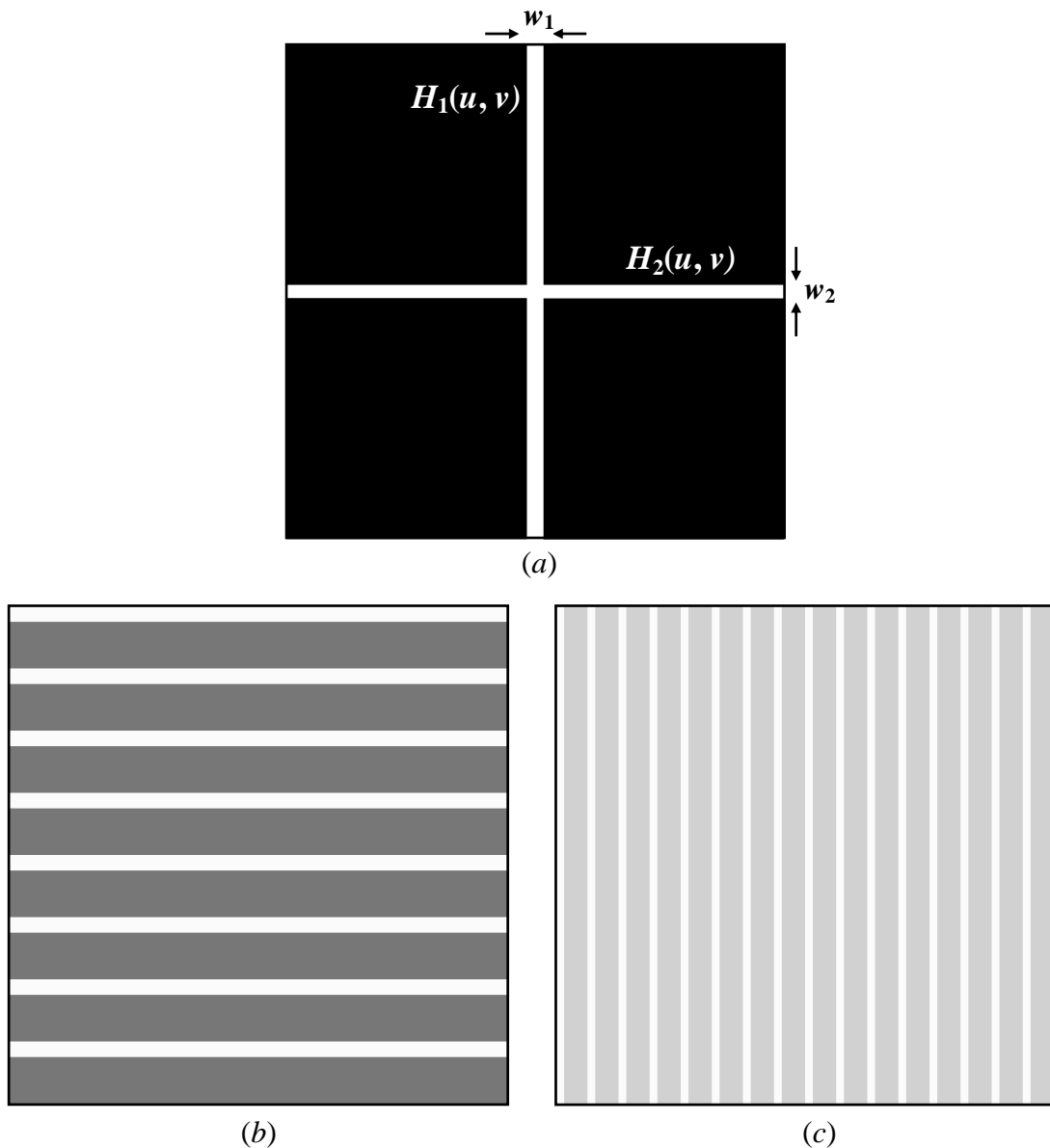
### **3.5 FILTRATGE A L'ESPAI DE FOURIER. EXTRACCIÓ DELS FILS D'ORDIT I DE TRAMA**

La separació dels fils d'ordit dels de trama requereix la utilització de filtres convenientment orientats, aplicats a la TF de la imatge del teixit (eq. (2.2.1-10)). Amb el benentès que, en el moment de la presa fotogràfica, es va procurar que els fils horitzontals (ordit) fossin paral·lels a la vora gran del marc d'enquadrament, tal i com està a les fig. 3.3-1(a), 3.3-2(a) i 3.4-1(a). Els filtres han estat els següents:

$$H_1(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } -\left[\frac{w_1}{2}\right] \leq u \leq \left[\frac{w_1}{2}\right], \\ 0 & \text{en cas contrari} \end{cases}, \quad (3.5-1)$$

$$H_2(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{si } \left[\left(-\frac{1}{\tan \alpha}\right) \cdot u - \frac{w_2}{2}\right] \leq u \leq \left[\left(-\frac{1}{\tan \alpha}\right) \cdot u + \frac{w_2}{2}\right], \\ 0 & \text{en cas contrari} \end{cases}, \quad (3.5-2)$$

amb  $w_1 = w_2 = 3$  en lloc de 1 degut a que els màxims freqüencials ocupen més d'un píxel i perdríem part de la informació.  $\alpha$  és l'angle existent entre els fils de trama i ordit, el mateix que formen les direccions dels màxims freqüencials d'ordit i de trama a l'EP. Recordem que  $[\cdot]$  fa referència a la part entera.

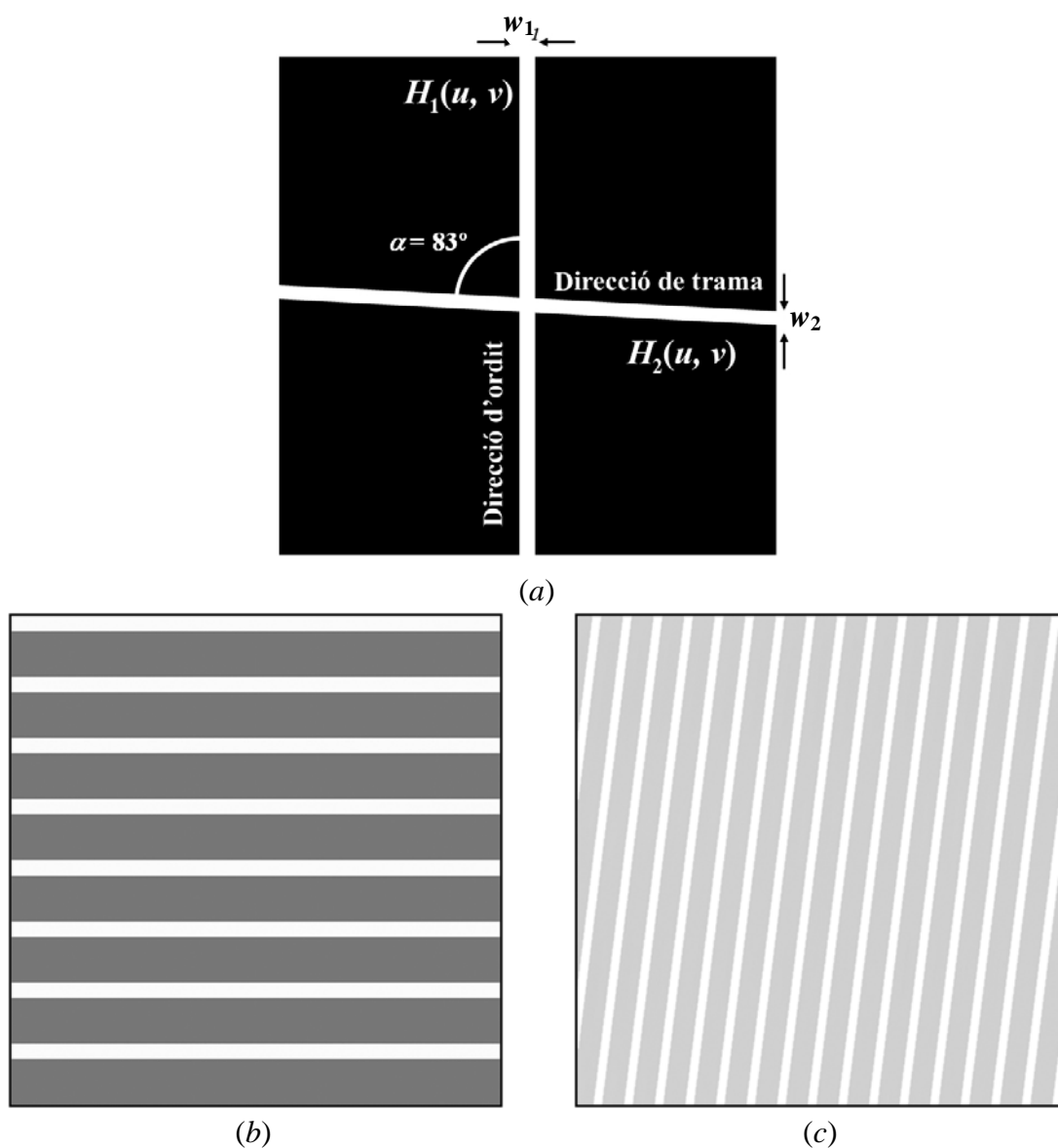


**FIGURA 3.5-1.** (a) Filtres  $H_i(u, v)$  aplicats a la TF de la fig. 3.3-1(a). (b) Fils d'ordit. (c) Fils de trama.

Les imatges mancades de biaix ( $\alpha = 90^\circ$ ) i amb els fils orientats segons les vores de l'enquadrament, no presenten cap problema per a la construcció dels filtres  $H_i(u, v)$  ( $i = 1, 2$ ) ja que els màxims freqüencials d'ordit i de trama es troben en la horitzontal i la vertical que passen pel *dc term*. Com a exemple tenim els filtres de la fig. 3.5-1(a) que s'han aplicat, separatament, a la TF de la imatge de la fig. 3.3-1(a). En fer la TF inversa en

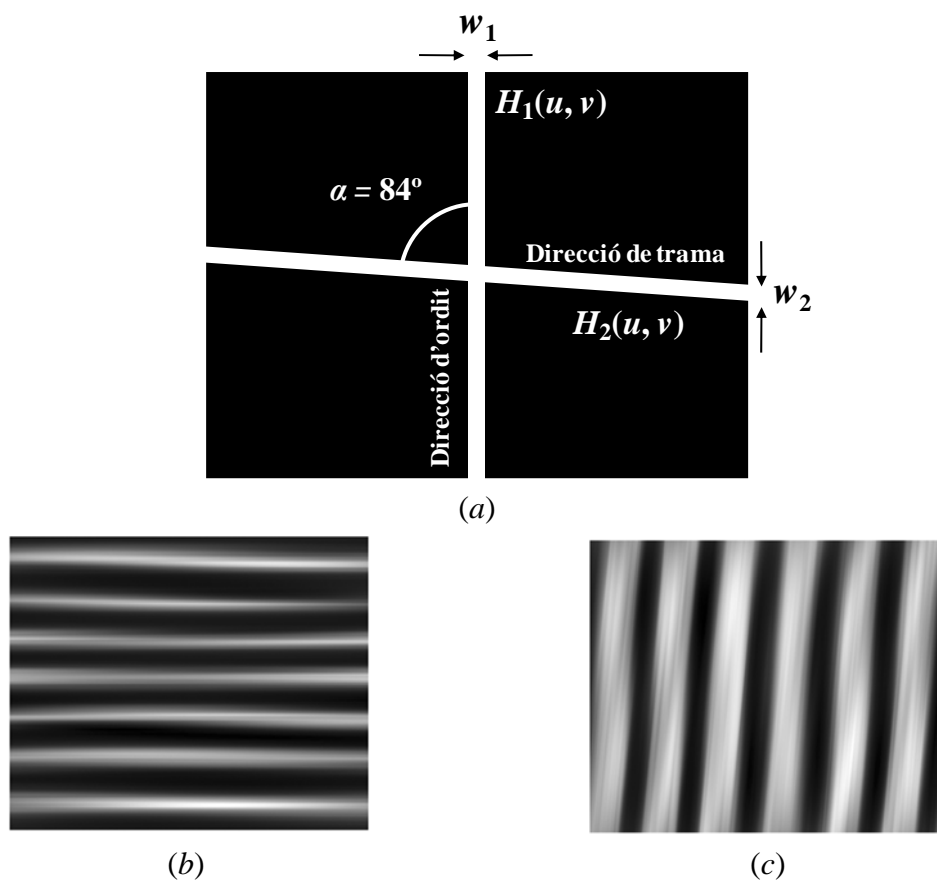
cada cas s'ha obtingut, d'una banda, els fils d'ordit (fig. 3.5-1(b) i, de l'altra, els de trama (fig. 3.5-1(c)).

Menys immediat és, però, el cas d'un model de teixit amb biaix com el de la fig. 3.3-2(a) en el que, sense l'ajut de la *TR*, no és evident la identificació de manera automàtica de les direccions de les freqüències d'ordit i de trama a l'*EP*. La fig. 3.3-2(c) mostra que  $\alpha = 83^\circ$ . La fig. 3.5-2(a) mostra els dos filtres aplicats a la *TF* de la imatge de la fig. 3.3-2(a) per a l'extracció dels fils d'ordit,  $H_1(u, v)$ , i de trama,  $H_2(u, v)$ . Les fig. 3.5-2(b) i 3.5-2(c) presenten, respectivament, els fils d'ordit i de trama com a resultat d'aquesta operació d'extracció.



**FIGURA 3.5-2.** (a) Filtres aplicats a la *TF* de la fig. 3.3-2(a) utilitzats per a la separació dels fils d'ordit dels de trama. (b) Fils d'ordit. (c) Fils de trama.

Anàlogament, en la imatge d'una mostra real com la de la fig. 3.4-1(a), els filtres aplicats a la seva  $TF$  per a la separació dels fils d'ordit i de trama es troben a la fig. 3.5-3-(a). Les fig. 3.5-3(b) i 3.5-3(c) mostren els fils d'ordit i de trama, respectivament, de l'àrea de teixit compresa dins del rectangle de la fig. 3.4-1(a) que com hem comentat a l'apartat 3.4, correspon al nombre enter màxim de períodes de la imatge menys un període per banda per evitar els efectes de vora de les imatges filtrades. En aquest cas, la mida de les imatges filtrades és la mateixa que la part interior del rectangle de la fig. 3.4-1(a). Notem que els traços foscos fan referència als fils i els clars als forats. L'objectiu no és el de recompondre la trama i l'ordit amb la fidelitat de la imatge, sinó que es tracta d'obtenir imatges prou representatives de la cobertura que proporciona cada família de fils.



**FIGURA 3.5-3.** (a) Filtres aplicats a la  $TF$  de la fig. 3.4-1(a) utilitzats per a la separació dels fils d'ordit dels de trama. (b) Fils d'ordit. (c) Fils de trama.

### 3.6 ALGORISME PER AL CÀLCUL DELS FACTORS DE COBERTURA PARCIAIS

L'aplicació de l'algorisme de segmentació *MSSQ* (apartat 2.5) a les imatges de les fig. 3.4-1(a) (retallada a les mateixes dimensions que les dues següents), 3.5-3(b) i 3.5-3(c) ha permès, d'una banda, el càlcul del FC total a partir de la primera d'elles i d'altra, la determinació de les primeres estimacions,  $FC_i^{prel}$ , dels FC parcials  $FC_i$ . Aquestes estimacions preliminars gairebé aconsegueixen l'eq. (3.1-9), encara que no exactament. Aquesta diferència es deu a que, en les estructures de l'ordit i la trama extretes després del filtratge de les imatges, hi ha alguns detalls de borrisol i petites curvatures dels fils de la imatge original que es perden en el procés. Per corregir aquesta diferència, hem assumit que les raons  $FC_i / FC_i^{prel}$  són iguals ( $i = 1, 2$ ), basant-nos en el fet que el procés d'extracció hauria de produir efectes proporcionals en cadascuna de les orientacions dels fils. Suposant que  $q$  és el valor comú d'aquestes dues raons, llavors l'eq. (3.1-9), pot ser reescrita de la següent manera:

$$FC = FC_1 + FC_2 - FC_1 \cdot FC_2 = qFC_1^{prel} + qFC_2^{prel} - q^2 FC_1^{prel} FC_2^{prel}. \quad (3.6-1)$$

Adonem-nos que un valor de FC es pot obtenir amb infinites combinacions de valors de  $FC_1$  i  $FC_2$ . La relació existent entre els  $FC_i^{prel}$  determina una d'aquestes infinites possibilitats. A la fig. 3.6-1(a) es pot veure a la representació gràfica de l'eq. (3.6-1) per a diferents valors de FC. Cada hipèrbola correspon a un valor de FC determinat.

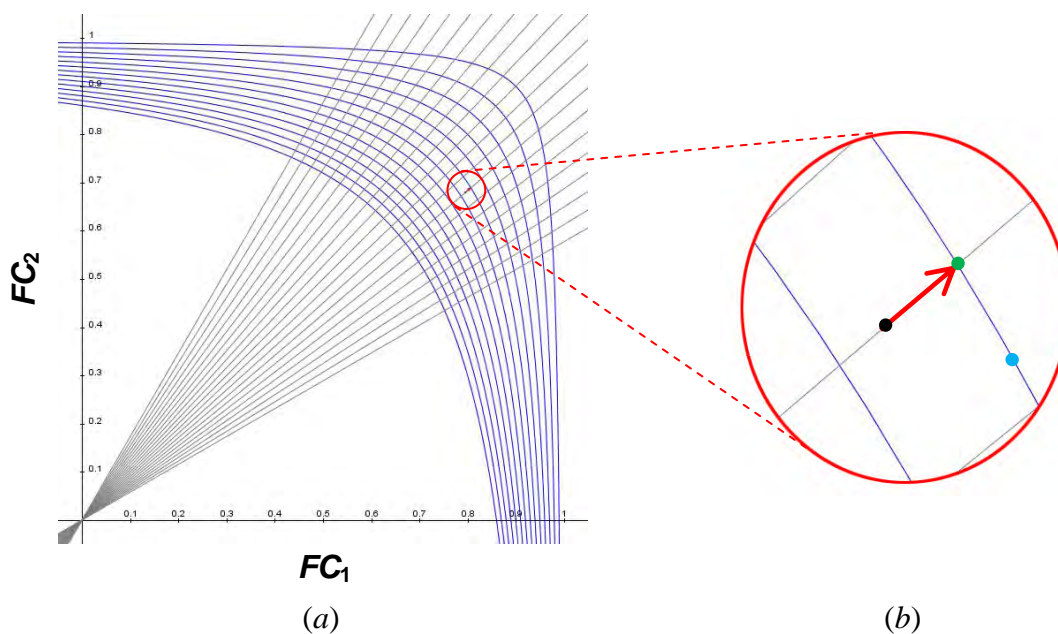


FIGURA 3.6-1. Hipèrboles d'isocobertura i FC parcials que satisfan la mateixa relació  $FC_2 / FC_1$ . (b) Ampliació del cercle vermell de la imatge (a)

Com que el vector de components  $(FC_1, FC_2) = (qFC_1^{prel}, qFC_2^{prel})$  és múltiple de  $(FC_1^{prel}, FC_2^{prel})$ , la solució gràfica d'aquest problema consisteix a trobar un múltiple de  $(FC_1^{prel}, FC_2^{prel})$  que es trobi sobre la hipèrbola corresponent al  $FC$  adequat. En aquest cas  $FC$  és el que resulta de l'anàlisi de la imatge inicial.

Presentant aquest argument de forma gràfica la fig. 3.6-1(b) mostra els  $FC$  parcials finals (punt verd) obtinguts com a intersecció d'una recta determinada pels  $FC$  parcials preliminars (punt negre) i la branca d'hipèrbola determinada pel  $FC$  total (punt blau). El vector vermell representa la diferència entre els  $FC_i$  finals i els preliminars. Els valors del  $FC$  total es corresponen amb la intersecció de les branques d'hipèrbola amb qualsevol dels dos eixos de coordenades (fig. 3.6-1(a)). L'argument quantitatiu i el càlcul exacte de  $q$  es troben a l'Annex II.

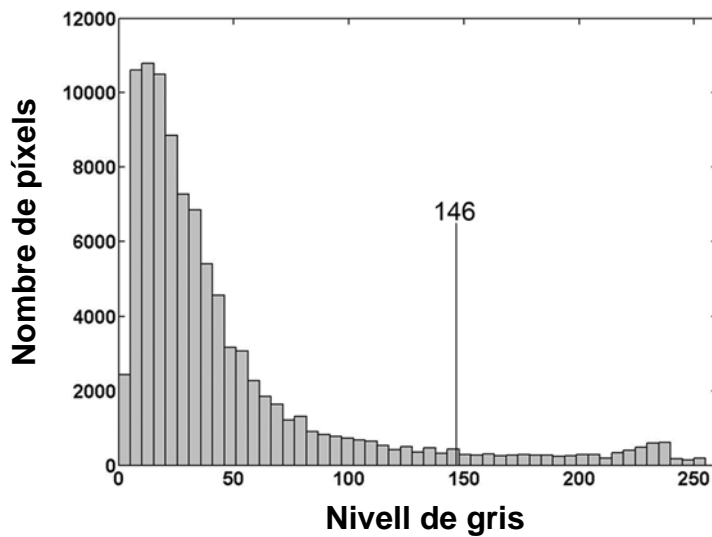
Reprement la imatge de la fig. 3.4-1(a), el  $FC$  del tros d'imatge contingut en el rectangle interior, determinat amb l'algorisme de segmentació proposat, és  $FC = 0.932 \pm 0.001$ . El seu histograma d'intensitats, amb el llindar corresponent indicat, es troba a la fig. 3.7-1(a).

Els valors de  $FC$  corresponents a les fig. 3.5-3(b) i (c) són  $FC_1^{prel} = 0.849 \pm 0.002$  i  $FC_2^{prel} = 0.562 \pm 0.004$ . Aquestes estimacions inicials han estat refinades a fi d'assolir les estimacions finals de  $FC_i$  calculades un cop resolta l'eq. (3.6-1) per a  $q$  ( $q = 0.9718$ ). Les estimacions finals  $FC_1 = 0.849 \pm 0.002$  i  $FC_2 = 0.546 \pm 0.004$  són properes a les estimacions preliminars i l'eq. (3.1-9) assegura la consistència de les estimacions finals amb el  $FC$  total.

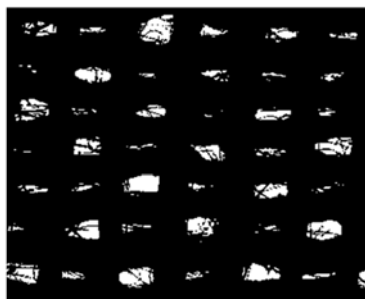
### 3.7 DIÀMETRE DELS FILS. RELACIONS AMB LES CARACTERÍSTIQUES NOMINALS DELS FILS

Els valors mitjans dels diàmetres dels fils estan directament relacionats amb els  $FC$  d'ordit i de trama, tal i com evidencia l'eq. (3.1-9), però el borrisol dels fils no contribueix al diàmetre del fil. Malgrat tot, per estimar els diàmetres mitjans dels fils d'ordit i de trama a partir dels  $FC$ , cal determinar uns nous  $FC$ , ( $FC^0$  i  $FC_i^0$ ) ( $i = 1, 2$ ), que ignorin el borrisol de la tela i que substitueixin els antics valors  $FC$  i  $FC_i$ . L'eq. (3.1-9) pot ser, aleshores, reescrita en termes d'aquests nous  $FC$  i assumint de nou que les raons  $FC_i^0 / FC_i^{prel}$  són iguals ( $i = 1, 2$ ), basant-nos en l'argument de simetria exposat a l'apartat anterior:

$$FC^0 = FC_1^0 + FC_2^0 - FC_1^0 \cdot FC_2^0 = q_0 FC_1^{prel} + q_0 FC_2^{prel} - q_0^2 FC_1^{prel} FC_2^{prel}. \quad (3.7-1)$$

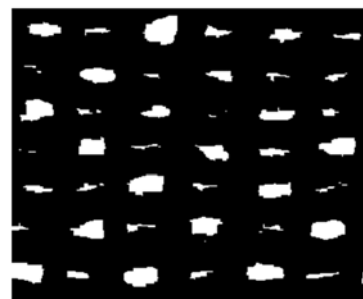


(a)



FC = 0.932

(b)



FC = 0.905

(c)

**FIGURA 3.7-1.** Histograma d'intensitats del tros d'imatge contingut al rectangle interior de la fig. 3.4-1(a) indicant el corresponent llindar. (b) Rectangle interior de la fig. 3.4-1(a) binaritzat. (c) El borrisol visible de la fig. 3.7-1(b) ha estat suprimit mitjançant un operador de tancament (*closing*).

A continuació exposem el procediment per a l'obtenció dels diàmetres de la mostra de tela de la fig. 3.4-1(a). Primerament, a la fig. 3.7-1(c) hem suprimit el borrisol de la imatge binaritzada (fig. 3.7-1(b)) mitjançant un operador de tancament <sup>[Doug 1992]</sup> amb una màscara quadrada de 7 x 7 píxels. Aquesta imatge lliure de borrisol presenta un  $FC^0 = 0.905$ .

D'acord amb l'anterior, s'ha resolt l'eq. (3.7-1) per a  $q_0$ , amb els requeriments  $q_0 FC_i^{prel} \leq 1$ , a fi d'obtenir les estimacions de  $FC_i^0$  ( $i = 1, 2$ ). Els diàmetres  $d_i$  han estat calculats a partir dels  $FC_i^0$  i els períodes  $p_i$ , prèviament determinats, utilitzant l'eq. (3.1-1). Les estimacions finals d'aquests FC que ignoren el borrisol són  $FC^0 = 0.901 \pm 0.001$ ,



$FC_1^0 = 0.804 \pm 0.002$  i  $FC_2^0 = 0.517 \pm 0.004$ . Els diàmetres dels fils calculats a partir d'aquestes estimacions són,  $d_1 = (32 \pm 2)$  píxels i  $d_2 = (30 \pm 2)$  píxels o bé, en longituds,  $d_1 = (0.22 \pm 0.01)$  mm i  $d_2 = (0.20 \pm 0.01)$  mm.

A la fig. 3.7-2 es pot observar el diagrama esquemàtic del procés seguit per a l'obtenció del  $FC$  total, els  $FC$  parcials ( $FC_i$ ) i el diàmetre promig dels fils d'ordit i de trama,  $d_i$ , que hem desenvolupat al llarg dels capítols 2 i 3 de la memòria.

Pel que fa als  $FC$  d'ordit i de trama, s'ha validat la consistència del procediment d'estimació descrit en aquesta memòria, analitzant la relació entre els resultats obtinguts amb el mètode proposat i les especificacions de fabricació de les mostres tèxtils, presentades a l'apartat 2.1.3. Els efectes del número de fil d'ordit i de trama i de les freqüències d'ordit i de trama han estat avaluats mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA). El gràfic de mitjanes que es mostra a les fig. 3.7-3(a) i (b) evidencia que un increment en el número de fil comporta un increment significatiu en el seu corresponent  $FC_i$  (p-valor  $< 10^{-4}$ ). Les fig. 3.7-3(c) i (d) mostren que un increment en la freqüència de fils de trama manté invariant  $FC_1$ , mentre que comporta un increment significatiu (p-valor  $< 10^{-4}$ ) de  $FC_2$ , tal i com es podia esperar. Totes aquestes figures representen els intervals de la diferència significativa més petita per als valors mitjans del  $FC_i$  corresponents a cada nivell del factor de classificació.

Els diàmetres dels fils, com ja hem comentat a l'apartat 2.3, es deriven de les seves densitats lineals a partir de fórmules específiques. Així doncs, el diàmetre dels fils incrementa alhora que ho fa la seva densitat lineal (Tex). Un increment en la massa del fil, mantenint la longitud constant, produiria un increment en la secció del fil i, consegüentment, un increment en el diàmetre mitjà del fil. Els efectes dels números de fil d'ordit i de trama sobre les estimacions dels diàmetres mitjans  $d_i$  obtinguts amb el mètode proposat, es presenten a les fig. 3.7-4(a) i (b). Ambdues mostren un increment significatiu en els diàmetres com a conseqüència de l'increment en el número de fil.

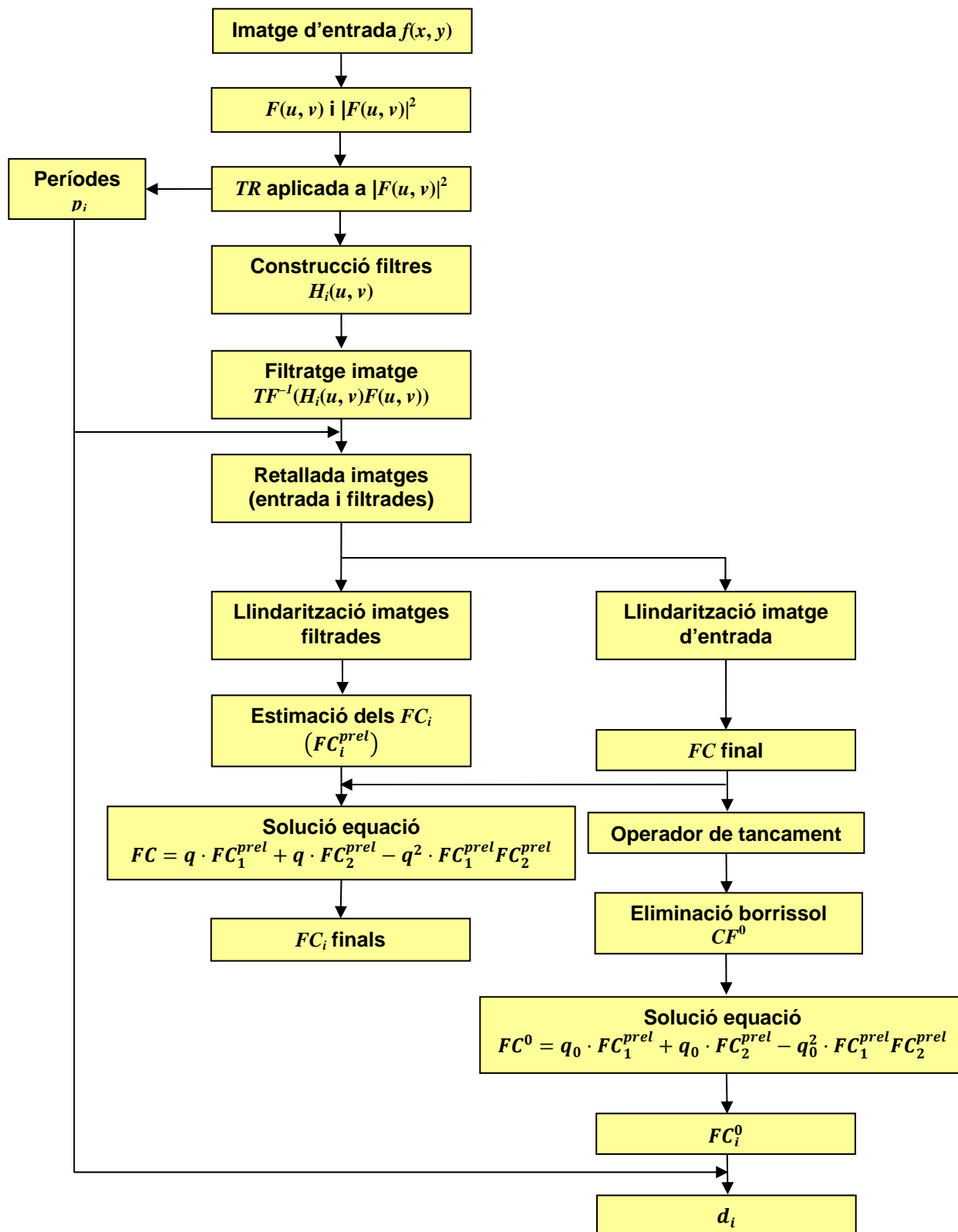
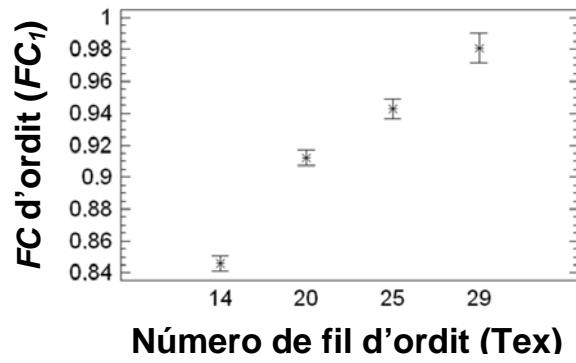
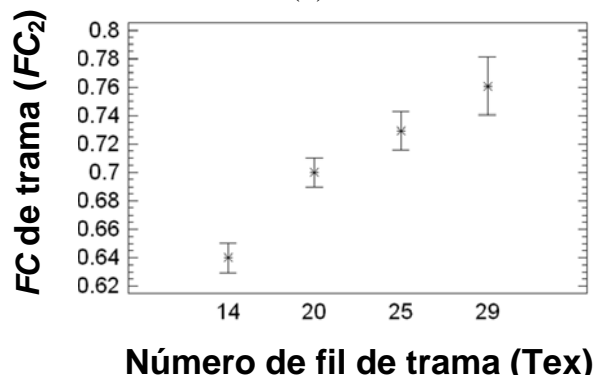


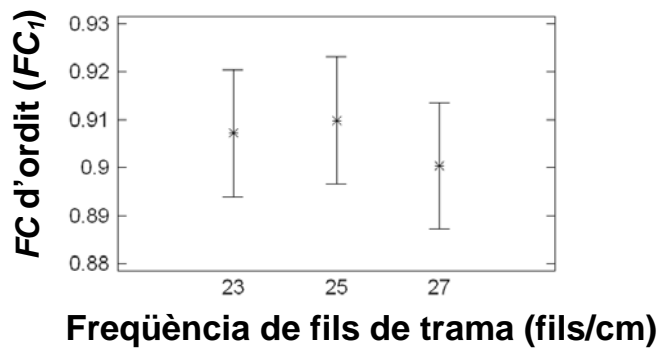
FIGURA 3.7-2. Diagrama esquemàtic del procés seguit per a l'obtenció del factor de cobertura total, FC, els factors de cobertura parcials, FC<sub>i</sub>, i el diàmetre promig dels fils d'ordit i de trama, d<sub>i</sub>.



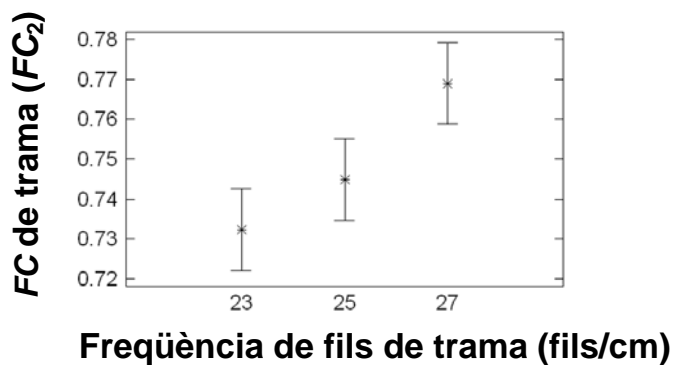
(a)



(b)

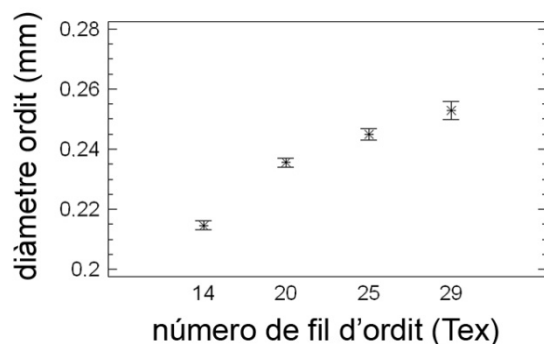


(c)

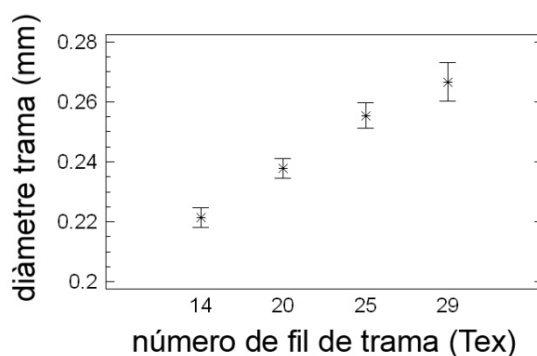


(d)

**FIGURA 3.7-3.** Gràfic de mitjanes mostrant els intervals de diferència significativa més petita del 95% de confiança, d'(a)  $FC_1$  per a cada a cada número de fil d'ordit, (b)  $FC_2$  per a cada número de fil de trama, (c)  $FC_1$  per a cada valor de freqüència de fils de trama i (d)  $FC_2$  per a cada valor de freqüència de fils de trama.



(a)



(b)

**FIGURA 3.7-4.** Gràfic de mitjanes mostrant els intervals de diferència significativa més petita del 95% de confiança de (a) diàmetre d'ordit per a cada número de fil d'ordit i (b) diàmetre de trama per a cada número de fil de trama.

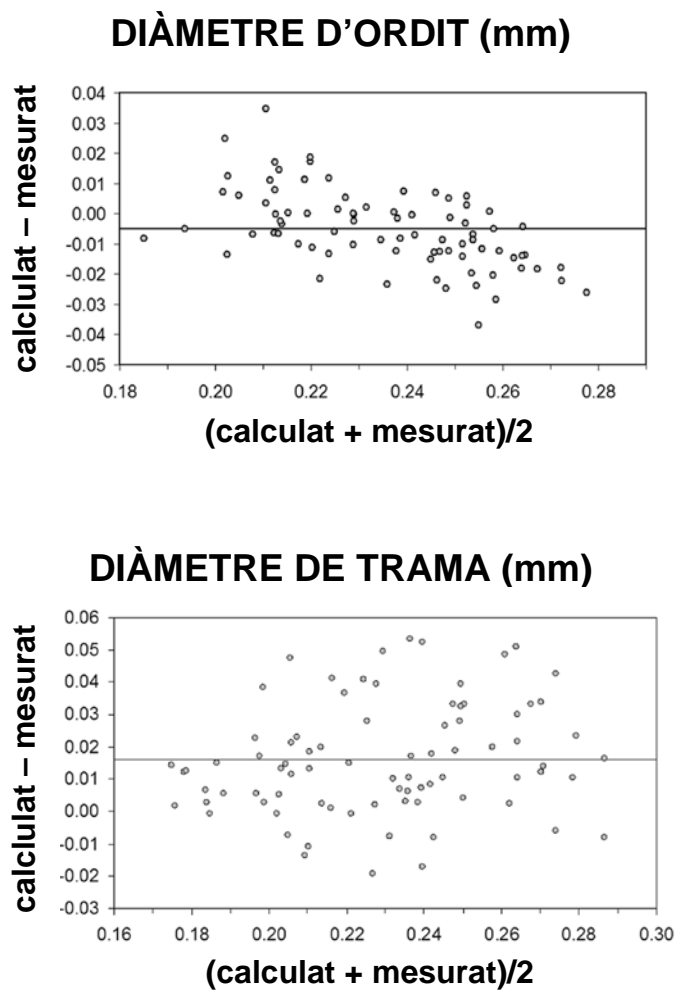
### **3.8 DIÀMETRE DELS FILS. RELACIONS AMB LA SEVA MESURA MANUAL**

Una última, però indirecta, valoració del mètode proposat és la comparació entre els diàmetres mitjans obtinguts amb aquest algorisme i els promitjos de deu mesures manuals dels mateixos diàmetres obtingudes a partir de la imatge de la mostra. Les mesures han estat fetes, per a cada mostra, sobre un monitor i, amb l'ajut d'un ratolí, s'ha col·locat el cursor en punts diametralment oposats sobre les vores del fil, per a 10 posicions diferents seleccionades subjectivament, a fi de tenir en compte la variabilitat del diàmetre dels fils d'ordit i de trama, i mesurant la distància entre ells.

Hem utilitzat representacions de diferències en front de les mitjanes a fi de comparar aquestes dues estimacions dels diàmetres dels fils (fig. 3.8-1). Si  $A$  és el diàmetre obtingut amb el mètode proposat i  $B$  el diàmetre mitjà de 10 mesures manuals efectuades sobre la imatge de la mostra, llavors la concordança entre aquests parells d'estimacions s'assoleix mitjançant la representació de  $A-B$  vs.  $(A+B)/2$ . L'eix vertical reflecteix les diferències

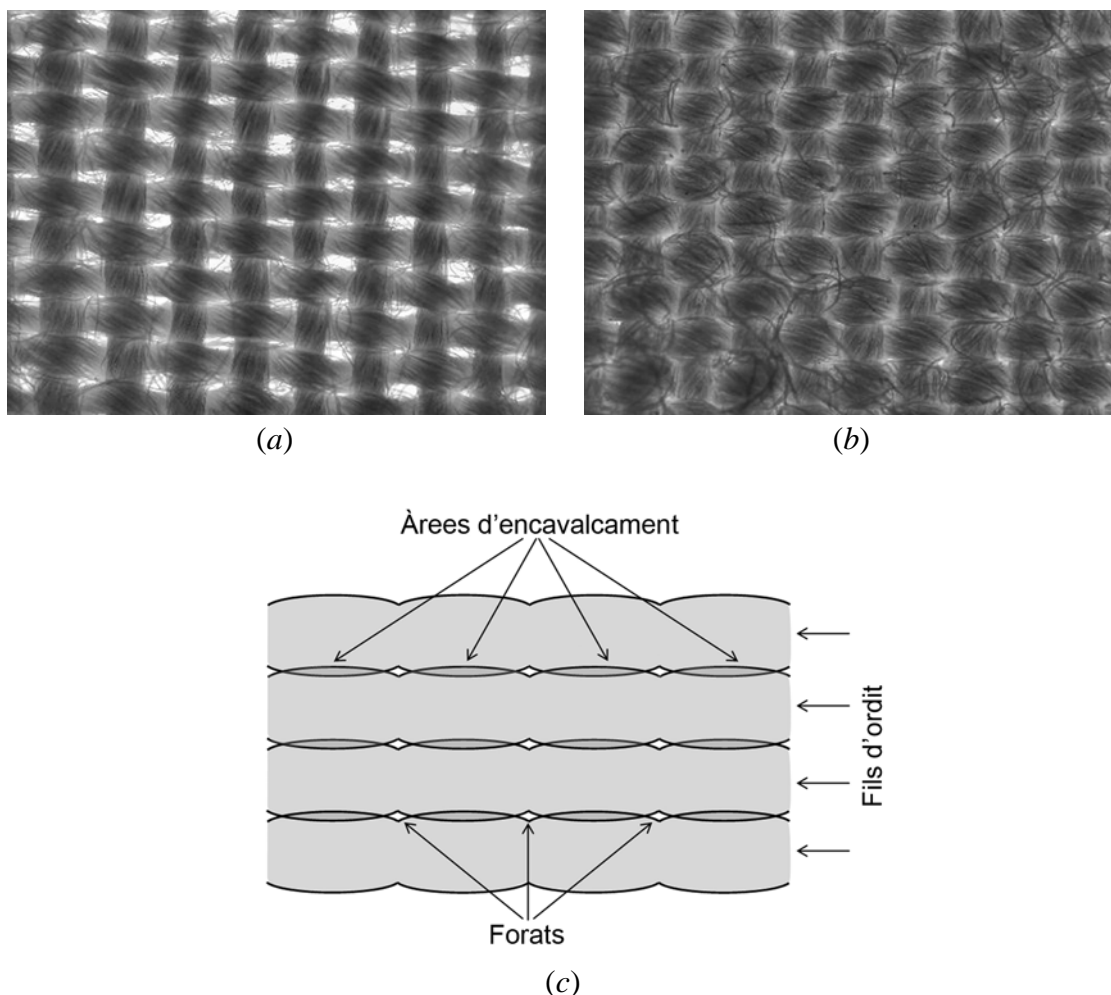
entre les estimacions dels diàmetres i l'eix horitzontal, la magnitud del diàmetre comptabilitzada com el valor mig d'ambdues estimacions.

La gràfica corresponent als fils d'ordit (fig. 3.8-1(a)) mostra que les diferències depenen lleugerament del valor mig i que estan uniformement distribuïdes al llarg dels dos costats de la línia horitzontal a  $-0.005$  mm. De tota manera, la gràfica corresponent als fils de trama (fig. 3.8-1(b)) mostra una distribució uniforme de les diferències tant per sobre com per sota de la horitzontal situada a  $0.016$  mm i, a més, que la distribució dels punts al llarg d'aquesta horitzontal no mostra cap tendència. A més, les diferències es troben majoritàriament dintre dels  $\pm 0.03$  mm respecte les línies centrals.



**FIGURA 3.8-1.** Representació de les diferències vs. les mitjanes per als (a) diàmetres d'ordit i (b) diàmetres de trama.

S'han analitzat les diferències entre els resultats obtinguts amb ambdós mètodes (automàtic i manual), particularment la tendència observada a la fig. 3.8-1(a). La freqüència de fils d'ordit és fixa i igual a 38 fils/cm en totes les mostres analitzades, en canvi, les freqüències de fils de trama utilitzades han estat 23, 25 i 27 fils/cm (taula 2.1.3-1). També es pot comprovar a la fig. 3.8-2(a) com els fils d'ordit adjacents no presenten encavalcament, només ocasionalment, mentre que l'encavalcament és ben clar a la fig. 3.8-2(b). El diàmetre d'ordit és major que el període s'ordit. D'aquí que quan la freqüència d'ordit assoleix valors alts, els fils d'ordit s'encavalquen lleugerament, tal i com explica la fig. 3.8-2(c) de manera esquemàtica. L'àrea d'encavalcament no contribueix dues vegades a l'estimació de  $FC_1$  i, així, el valor del diàmetre obtingut a partir de  $FC_1$  utilitzant l'eq. (3.1-1) és una subestimació del valor veritable del diàmetre d'ordit mitjà. Llavors, les diferències  $A - B$  tendeixen a ser negatives quan la freqüència d'ordit augmenta.



**FIGURA 3.8-2.** (a) Fils adjacents sense encavalcament. (b) Fils d'ordit presentant encavalcament. (c) Il·lustració esquemàtica de fils d'ordit presentant encavalcament.

És possible que aquest fenomen expliqui la tendència que mostra la diferència entre el diàmetre calculat i el mesurat pels fils d'ordit. El mesurat és superior al calculat quan es produeix aquest fenomen d'encavalcament. Possiblement si poguéssim compensar aquest efecte, observariem en el diàmetre d'ordit una diferència positiva sistemàtica com en el cas de la trama. Aquesta diferència sistemàtica es mostra en la línia central. En el cas de la trama, tenint en compte que els diàmetres obtinguts mitjançant el mètode proposat són consistents amb el *FC* total, es deriva que els valors obtinguts a partir de 10 diàmetres mesurats manualment són subestimacions del diàmetre del fil. Aquesta subestimació pot ser deguda a la valoració subjectiva de les vores del fil per part de l'operador degut a la seva ambigüitat o al seu borrossol.

Finalment, les diferències aleatòries entre les distàncies de cada punt a la línia central horitzontal són més aviat petites i cauen dintre de la variabilitat de les mesures manuals dels diàmetres.





## **4. RELACIÓ ENTRE EL FACTOR DE COBERTURA TOTAL I LA REFLECTÀNCIA DIFUSA DEL TEIXIT**

---

El *FC*, tal com l'hem definit a l'apartat 1.1, és un concepte de caire força geomètric que hem estimat en els capítols anteriors amb tècniques de processament de la imatge digital. El qualificatiu geomètric, en aquest cas, fa referència a que només entra en joc la forma de la projecció ortogonal del teixit, sense tenir en compte altres propietats com la naturalesa dels fils i les fibres, el seu color, el seu grau d'absorció de la llum, la seva porositat, la seva translucidesa, etc. Simplement hem assumit que el teixit és quelcom opac que està cobrint un fons, i hem analitzat en quin grau ho fa.

En canvi, en aquest capítol, conceptualment diferent dels anteriors, pretenem analitzar la interrelació entre el *FC* d'un teixit i la seva reflectància difusa. Ja s'entreveu, de manera intuïtiva, que per a un mateix tipus de lligadura i fils, a major freqüència de fils (major *FC*), major serà el valor de la seva reflectància difusa (sempre i quan el suport sigui negre). Aquest paràmetre, la reflectància difusa, forma part de les característiques òptiques del teixit i, per això, hem considerat adient treballar amb el model de transferència radiant de doble flux de Kubelka-Munk, a fi d'explicar el comportament de la llum en interaccionar amb el teixit i poder valorar la influència que, sobre ella, hi té el *FC*.

## **4.1 LA TEORIA DE KUBELKA-MUNK**

La teoria clàssica de transferència radiant de doble flux de Kubelka-Munk (*K-M*) <sup>[Kube 1931]</sup> ha estat àmpliament utilitzada per descriure les propietats òptiques de substàncies o materials particulats mats no fluorescents, consistents en absorció i difusió de la llum per part de la capa de material, tant en el visible com en l'infraroig. Va tenir el seu origen en l'estudi de les propietats òptiques de les capes de pintura <sup>[Coop 2006; Bern 2007]</sup>. La teoria caracteritza cada colorant pels seus coeficients d'absorció i difusió i és la base per a la majoria de sistemes informàtics de predicció de receptes cromàtiques. A més, el model de Kubelka-Munk és de gran importància en moltes altres àrees de recerca aplicada i ha estat utilitzat per a la mesura de les propietats òptiques de recobriments protectors <sup>[Stuk 2008]</sup>, obres d'art <sup>[Dupu 2005; 2006]</sup>, recobriments per a la tecnologia solar <sup>[Levi 2005; Orel 2005]</sup>, paper <sup>[Arne 2003; Yang 2008]</sup>, pel·lícules plàstiques <sup>[Park 2005; Vill 2005]</sup>, polímers pigmentats <sup>[Arin 2005]</sup>, cobertes vegetals <sup>[Roch 2003]</sup>, aliments <sup>[Lana 2006]</sup>, materials odontològics <sup>[Chir 2006]</sup>, materials sinteritzats <sup>[Wolf 2008]</sup>, tintes d'impressora <sup>[Li 2003]</sup>, carbó <sup>[Andr 2005]</sup>, etc. També s'ha aplicat als camps de la química biofísica <sup>[Cord 2007]</sup>, la física mèdica <sup>[Doi 2003; Wei 2004]</sup> i als gràfics generats per ordinador <sup>[Abdu 2005]</sup>, per citar alguns exemples.

Pel que fa a la utilització del model de Kubelka-Munk en el camp del tèxtil, la majoria de treballs rau en preveure les concentracions de colorant adients per a obtenir un color final desitjat del teixit i predir-ne la seva reflectància i/o determinar les propietats d'absorció i difusió del teixit a partir de mesures de reflectància <sup>[Judd 1975; Luci 2004; Joan 2006; Sham 2008]</sup>.

### **4.1.1 CONCEPTES PREVIS DE RADIOMETRIA**

#### **Flux radiant ( $F_e$ )**

És l'energia emesa per un emissor per unitat de temps <sup>[Wolf 1998]</sup>. La unitat en que es mesura és el Watt.

#### **Intensitat radiant ( $I_e$ )**

Si consideren idealment una font emissora puntual isotròpica que en un angle sòlid  $d\omega$  emet un flux radiant  $F_e$ , rep el nom d'intensitat radiant el quocient

$$I_e = \frac{dF_e}{d\omega} \quad (4.1.1-1)$$

La seva unitat és W/sr.

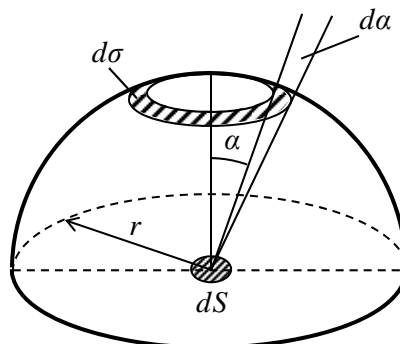
### Radiància ( $L_e$ )

La radiància d'un element de superfície  $dS$  en una direcció determinada  $\alpha$ , es defineix com el quocient de la intensitat radiant (4.1.1-1) en aquella direcció per l'àrea de l'element emissor projectada sobre un pla normal a la direcció considerada. També se l'anomena *luminància energètica* i es mesura en W/(sr·m<sup>2</sup>).

$$L_e = \frac{dF_e}{d\omega \cdot dS \cdot \cos \alpha} \quad (4.1.1-2)$$

### Emissor perfecte o lambertià

Un emissor lambertià (ja sigui primari o secundari) té la propietat que la seva radiància és independent de l'angle considerat, és a dir, isotròpica, per tant  $L_e \neq L_e(\alpha)$ . Anem a trobar la relació que hi ha entre el flux i la radiància: considerem un element de superfície d'un emissor perfecte  $dS$  que emet un flux total  $F$  en el semiespai superior i presenta una radiància  $L$ . S'ha de tenir en compte que el fenomen és de revolució al voltant de l'eix vertical. Dintre de la semiesfera de radi  $r$ , agafem un element de superfície,  $d\sigma$ , d'amplada  $d\alpha$  de manera que la seva àrea serà  $d\sigma = 2\pi r^2 \sin \alpha d\alpha$ . L'angle sòlid que subtendeix  $d\sigma$  respecte el centre de l'esfera serà  $d\omega = d\sigma / r^2 = 2\pi \sin \alpha d\alpha$  (fig. 4.1.1-1).



**FIGURA 4.1.1-1.** Esquema per a la determinació de la relació entre el flux radiant i la radiància d'un emissor lambertià.

Aleshores, de (4.1.1-2)

$$dF = L_e dS \cos \alpha d\omega = 2\pi L_e dS \sin \alpha \cos \alpha d\alpha . \quad (4.1.1-3)$$

Integrant (4.1.1-3) per a tota la semiesfera

$$F = 2\pi L_e dS \int_0^{\pi/2} \sin \alpha \cos \alpha d\alpha = \pi L_e dS . \quad (4.1.1-4)$$

Substituint (4.1.1-4) en (4.1.1-3) podem escriure la distribució angular del flux radiant de l'emissor lambertià com

$$\frac{dF}{d\alpha} = F \sin 2\alpha , \quad (4.1.1-5)$$

expressió que serà utilitzada a l'apartat 4.1.2.

### **Irradiància ( $E_e$ )**

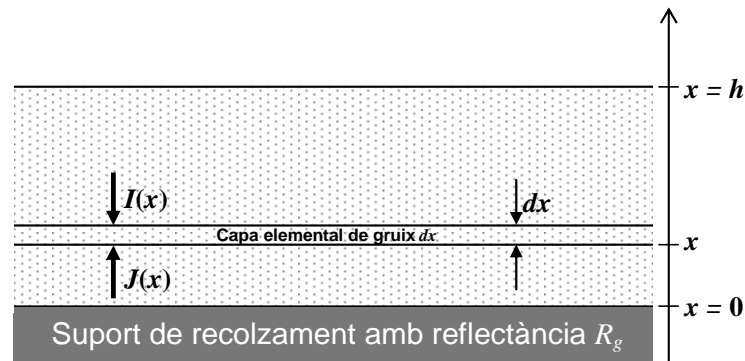
Referida a un punt d'una superfície, és el flux radiant rebut per un element de superfície que conté el punt, dividit per l'àrea de l'element de superfície.

$$E_e = \frac{dF_e}{dS} \quad (4.1.1-6)$$

La seva unitat és el W/sr.

### 4.1.2 LA SOLUCIÓ EXPONENCIAL DE KUBELKA-MUNK

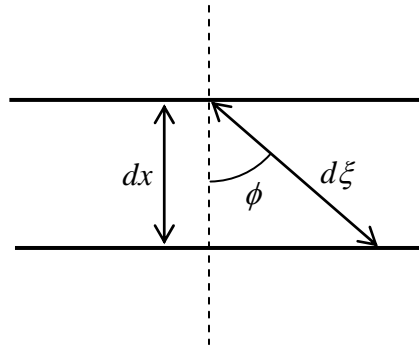
La teoria de *K-M* pressuposa la irradiació difusa del material i difusió ideal de la llum en el medi en qüestió. Considerem una capa composta de partícules absorbents i difusores de la llum, distribuïdes aleatòriament, la dimensió de les quals és molt més petita que el gruix de la capa de material [Kube 1931; Wend 1966; Kort 1969; Yang 2004] (fig. 4.1.2-1). També assumim que la capa té una extensió lateral infinita i, per tant, l'efecte de les vores laterals és nul. El problema de la difusió es redueix assumint que la llum és absorbida i difosa només en la direcció sagital i en els dos sentits. D'aquesta manera, no cal tenir en compte els fluxos de llum tangencials i només cal analitzar dos fluxos en la direcció normal que, per a centrar el problema, anomenarem *cap amunt* i *cap avall*. Sigui  $h$  el gruix de la capa irradiada amb un flux radiant monocromàtic difús,  $I_{(x=h)}$  (fig. 4.1.2-1) en la direcció de les  $x$  negatives.



**FIGURA 4.1.2-1.** Representació esquemàtica d'un substrat de partícules absorbents i difusores de la llum disposat sobre un suport de recolzament opac.

Considerem una capa infinitesimal de gruix  $dx$  paral·lela a la superfície. El flux radiant que travessa aquesta capa en la direcció de les  $x$  negatives el designarem per  $I$  i, en la de les  $x$  positives, degut a la difusió, per  $J$ . Com que aquesta capa estarà sotmesa al flux radiant en totes les possibles direccions respecte  $x$ , la longitud promig del camí recorregut per la radiació en la capa infinitesimal  $dx$  no és igual a  $dx$  sinó, evidentment, més gran. Per a una direcció  $\phi$  qualsevol, la longitud del camí recorregut per la llum és (fig. 4.1.2-2):

$$d\xi = \frac{dx}{\cos \phi} \quad (4.1.2-1)$$



**FIGURA 4.1.2-2.** Esquema per a la deducció de la longitud promig del camí recorregut per la llum en travessar una capa infinitesimal d'un material difusor ideal.

Notem que en el medi hi ha raigs en totes les possibles direccions respecte la normal a la superfície. Si designem la distribució angular del flux radiant que arriba a la capa  $dx$  com a  $\partial I/\partial\phi$ , la fracció del flux radiant incident en la direcció  $\phi$  ve donat per  $\frac{1}{I} \cdot \frac{\partial I}{\partial\phi} d\phi$ , on  $I$  és el flux total que arriba a la superfície de la capa infinitesimal. Per obtenir el valor promig de la longitud del camí recorregut per la radiació en la capa infinitesimal  $dx$ , hem d'integrar per a tots els valors de  $\phi$  entre 0 i  $\pi/2$ . D'aquesta manera:

$$\overline{d\xi_I} = dx \int_0^{\pi/2} \frac{1}{I \cos\phi} \cdot \frac{\partial I}{\partial\phi} d\phi \equiv u dx. \quad (4.1.2-2)$$

Similarment, per a la radiació en la direcció positiva, la longitud promig de camí recorregut per la llum en travessar el  $dx$  és:

$$\overline{d\xi_J} = dx \int_0^{\pi/2} \frac{1}{J \cos\phi} \cdot \frac{\partial J}{\partial\phi} d\phi \equiv v dx. \quad (4.1.2-3)$$

Tal com hem comentat a l'apartat 4.1.1, una característica dels difusors ideals o Lambertians és que la seva radiància és constant per a totes les direccions, cosa que implica que la distribució angular del flux radiant respon a aquesta expressió:

$$\frac{\partial I}{\partial\phi} = I \sin 2\phi \quad \text{o} \quad \frac{\partial J}{\partial\phi} = J \sin 2\phi, \quad (4.1.2-4)$$

per a la direcció negativa i positiva de les  $x$ , respectivament. Així doncs, de (4.1.2-2), (4.1.2-3) i (4.1.2-4), els valors de  $u$  i  $v$  esdevenen:

$$u = v = \int_0^{\pi/2} \frac{\sin 2\phi}{\cos \phi} d\phi = 2 \int_0^{\pi/2} \sin \phi d\phi = 2. \quad (4.1.2-5)$$

Aleshores, per a la irradiació completament difusa d'una capa  $dx$  d'un difusor ideal, tenim:

$$\overline{d\xi_I} = \overline{d\xi_J} = 2dx. \quad (4.1.2-6)$$

La longitud promig del camí recorregut per la radiació difusa és dues vegades el gruix geomètric de la capa.

Si designem el coeficient d'absorció del material per  $k$  i el seu coeficient de difusió per  $s$  (ambdós per unitat de longitud) llavors, dintre de la capa  $dx$  irradiada sota les condicions mencionades anteriorment, la fracció  $kI2dx$  serà absorbida i la fracció  $sI2dx$  es perdrà per difusió cap amunt. El flux radiant  $J$  que ve de sota donarà la fracció  $sJ2dx$  en la direcció negativa de les  $x$  degut a la difusió. D'aquesta manera, el canvi d'intensitat  $I$  en la capa elemental  $dx$  està format per 3 parts:

$$-dI = -kI2dx - sI2dx + sJ2dx. \quad (4.1.2-7)$$

Similarment obtenim la variació de  $J$  en la direcció positiva de les  $x$

$$dJ = -kJ2dx - sJ2dx + sI2dx. \quad (4.1.2-8)$$

Com que  $J$  s'incrementa amb l'augment de  $x$ , però  $I$  disminueix,  $dI$  i  $dJ$  tenen signes oposats.

Designant

$$2k = K \quad \text{i} \quad 2s = S, \quad (4.1.2-9)$$

obtenim les dues equacions diferencials fonamentals que descriuen el procés d'absorció i difusió:

$$-\frac{dI}{dx} = -(K + S)I + S J , \quad (4.1.2-10)$$

$$\frac{dJ}{dx} = -(K + S)J + S I , \quad (4.1.2-11)$$

Les quantitats  $K$  i  $S$  no tenen significat físic directe per elles mateixes, tot i que semblen representar les fraccions de llum absorbida i difosa, respectivament, per cada unitat vertical de longitud. Per desgràcia, aquest fet no ha estat tingut en compte per gaires autors que, contràriament al que correspon, consideren  $K$  i  $S$  com les propietats físiques del material. Un exemple que recolza aquest argument és el fet que  $K$  i  $S$  depenen de la geometria de la il·luminació (difusa o col·limada). Per al cas d'il·luminació difusa, ja s'ha deduït prèviament l'expressió (4.1.2-9).

Si, ara, per abreviar escrivim

$$\frac{S + K}{S} = 1 + \frac{K}{S} \equiv a , \quad (4.1.2-12)$$

les equacions es poden escriure de la següent manera

$$-\frac{dI}{S dx} = -aI + J , \quad (4.1.2-13)$$

$$\frac{dJ}{S dx} = -aJ + I . \quad (4.1.2-14)$$

Si dividim (4.1.2-13) per  $I$  i (4.1.2-14) per  $J$ , les sumem membre a membre i hi substituïm<sup>◇</sup>

---

<sup>◇</sup> Veure Annex II



$$\frac{J}{I} \equiv r, \quad (4.1.2-15)$$

arribem a

$$\frac{dr}{S dx} = r^2 - 2ar + 1, \quad (4.1.2-16)$$

on ordenant termes i integrant, tenim

$$\int \frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} = \int S dx = S \int dx. \quad (4.1.2-17)$$

Com que  $S$  és independent de  $x$ , pot sortir de la integral del segon membre de (4.1.2-17).

Integrant sobre la totalitat del gruix de la capa tenim, per a les dues superfícies limitants:

$$x = 0: \quad r_{x=0} = \left( \frac{J}{I} \right)_{x=0} = R_g = \text{reflectància del fons (suport on es recolza la mostra)}, \quad (4.1.2-18)$$

$$x = h: \quad r_{x=h} = \left( \frac{J}{I} \right)_{x=h} = R = \text{reflectància de la mostra}. \quad (4.1.2-19)$$

La integració per fraccions parcials de (4.1.2-17) dóna♦

$$\ln \frac{(R - a - \sqrt{a^2 - 1})(R_g - a + \sqrt{a^2 - 1})}{(R_g - a - \sqrt{a^2 - 1})(R - a + \sqrt{a^2 - 1})} = 2Sh\sqrt{a^2 - 1}. \quad (4.1.2-20)$$

En el cas que la capa tingui un gruix infinit ( $h = \infty$ ), es pot admetre  $R_g = 0$  i, aleshores, prenem  $R = R_\infty$ , fet que implica que el terme de la dreta de (4.1.2-20) val  $\infty$ . Per tant, el denominador de la fracció de l'argument del logaritme de (4.1.2-20) val zero,

$$(-a + \sqrt{a^2 - 1})(R_\infty - a + \sqrt{a^2 - 1}) = 0 \quad (4.1.2-21)$$

♦ Veure Annex III.

o, el que és el mateix, aïllant  $R_\infty$

$$R_\infty = a - \sqrt{a^2 - 1} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\frac{K^2}{S^2} + 2\frac{K}{S}} = \frac{S}{S + K + \sqrt{K(K + 2S)}}. \quad (4.1.2-22)$$

$R_\infty$ , l'anomenada *reflectància opaca* o *reflectància infinita* de la mostra, és fàcilment mesurable i només és funció de  $K/S$ , o sigui, depèn exclusivament de la raó entre els coeficients d'absorció i de difusió de la capa de material. Aïllant  $K/S$  de (4.1.2-22) obtenim l'equació anomenada *funció de remissió* o *funció de Kubelka-Munk*,

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \equiv f(R_\infty). \quad (4.1.2-23)$$

La raó  $K/S$  s'utilitza en les prediccions de les concentracions dels colorants emprats en el procés de tintura dels teixits <sup>[Joan 2006]</sup>.

Si definim

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \quad (4.1.2-24)$$

i tenint en compte l'eq. (4.1.2-23), podem representar  $a$  i  $b$  com a funció de  $R_\infty$ :

$$a = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_\infty} + R_\infty \right), \quad (4.1.2-25)$$

$$\sqrt{a^2 - 1} \equiv b = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_\infty} - R_\infty \right), \quad (4.1.2-26)$$

De (4.1.2-25) i (4.1.2-26) tenim

$$R_\infty = a - b = \frac{1}{a + b}. \quad (4.1.2-27)$$

Ara però, per a una capa de gruix finit ( $0 < h < \infty$ ) sobre un suport qualsevol de reflectància  $R_g$  tal que  $0 \leq R_g \leq 1$ , si inserim (4.1.2-24) i (4.1.2-25) a (4.1.2-20), obtindrem

$$\ln \frac{(R - 1/R_\infty)(R_g - R_\infty)}{(R_g - 1/R_\infty)(R - R_\infty)} = Sh \left( \frac{1}{R_\infty} - R_\infty \right) \quad (4.1.2-28)$$

o bé aïllant  $R$

$$R = \frac{(1/R_\infty)(R_g - R_\infty) - R_\infty(R_g - 1/R_\infty) \cdot \exp[Sh(1/R_\infty - R_\infty)]}{(R_g - R_\infty) - (R_g - 1/R_\infty) \cdot \exp[Sh(1/R_\infty - R_\infty)]}. \quad (4.1.2-29)$$

La reflectància difusa d'una capa de material depèn de la reflectància  $R_g$  del suport, de la reflectància difusa  $R_\infty$  d'una capa anàloga de gruix infinit i del producte  $Sh$ , anomenat *poder de difusió*.

#### **4.1.3 LA SOLUCIÓ HIPERBÒLICA OBTINGUDA PER KUBELKA-MUNK**

Posteriorment, l'èxit de Kubelka va ser l'obtenció de solucions hiperbòliques explícites per a totes les variables pertinents, que simplificaven altament la seva avaluació a partir de dades experimentals. El seu procediment comença amb l'expressió (4.1.2-17). La solució general d'aquesta equació és:

$$\int \frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} = \frac{-1}{\sqrt{a^2 - 1}} \tanh^{-1} \left( \frac{r - a}{\sqrt{a^2 - 1}} \right) = \frac{1}{b} \tanh^{-1} \left( \frac{a - r}{b} \right) \quad (4.1.3-1(a))$$

o bé

$$\int \frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} = \frac{-1}{\sqrt{a^2 - 1}} \coth^{-1} \left( \frac{r - a}{\sqrt{a^2 - 1}} \right) = \frac{1}{b} \coth^{-1} \left( \frac{a - r}{b} \right). \quad (4.1.3-1(b))$$

La utilització de  $\tanh$  o  $\coth$  depèn de l'argument.  $\tanh^{-1}$  s'hauria d'utilitzar per al cas que  $-1 \leq \left(\frac{a-r}{b}\right) \leq 1$ , mentre que  $\coth^{-1}$  és apropiat per a  $\left(\frac{a-r}{b}\right) \leq -1$  i  $\left(\frac{a-r}{b}\right) \geq +1$  que són, respectivament, els dominis d'existència de les dues funcions anteriors. En el present cas, de (4.1.2-12),  $a > 1$ , mentre que de (4.1.2-25),  $b < 1$ . El valor màxim per a  $r$  és  $R_\infty$ , o sigui,  $r \leq R_\infty$ . Com que de (4.1.2-27)  $R_\infty = a - b$ , llavors  $a - r \geq b$ , o  $\frac{a-r}{b} \geq 1$ . Per tant, és necessari utilitzar  $\coth^{-1}$ . Si integrem sobre la totalitat del gruix  $h$  de la capa i tenint en compte (4.1.2-18) i (4.1.2-19), s'obté

$$\int \frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} = Sh = \frac{1}{b} \left( \coth^{-1} \frac{a-R}{b} - \coth^{-1} \frac{a-R_g}{b} \right). \quad (4.1.3-2)$$

Com que en general  $\coth^{-1} x - \coth^{-1} y \equiv \coth^{-1} \frac{1-xy}{x-y}$ , es dedueix que

$$Sh = \frac{1}{b} \left( \coth^{-1} \left( \frac{b^2 - (a-R)(a-R_g)}{b(R_g - R)} \right) \right) \quad (4.1.3-3)$$

d'on aïllant  $R$  s'obté

$$\boxed{R = \frac{1 - R_g (a - b \coth(bSh))}{a + b \coth(bSh) - R_g}} \quad (4.1.3-4)$$

Es pot comprovar que l'eq. (4.1.3-3) és idèntica a l'eq. (4.1.2-20) ja que  $\coth^{-1} x = \frac{1}{2} \ln \frac{x+1}{x-1}$  i que, per tant, les dues maneres de resoldre la integral són equivalents. L'expressió (4.1.3-4) de la reflectància difusa està emmarcada perquè és la que utilitzarem per al desenvolupament de l'apartat 4.2.

## 4.2 APLICACIÓ DE LA TEORIA DE KUBELKA-MUNK A LA REFLECTÀNCIA D'UNA PILA CREIXENT DE CAPES DE TEIXIT

### 4.2.1 RELACIÓ CONCEPTUAL ENTRE EL $FC$ I LA REFLECTÀNCIA D'UN TEIXIT

El color d'un teixit, il·luminant a part, ve caracteritzat per la seva reflectància espectral. Moltes mostres de teixits tenen un cert grau de transparència, degut a la seva obertura ( $1-FC$ ), i de translucidesa, funció de la translucidesa dels fils i del seu  $FC$ . Així doncs, la reflectància d'aquestes mostres i, per tant, el seu color, variarà depenent del suport sobre el qual estiguin recolzades quan l'avaluem visualment. Aquest aspecte és ben conegut per tothom. L'*AATCC Technical Manual* <sup>[AATC 1963]</sup> recomana que, si és necessari evitar els efectes del fons a fi d'avaluar l'apariència dels teixits, cal utilitzar dues o més capes de teixit. De fet, el que caracteritza el color del teixit és la seva reflectància opaca o reflectància infinita,  $R_{\infty}$ , definida per Kubelka i Munk (4.1.2-22 i 4.1.2-23), que és la reflectància d'una capa de material de gruix infinit. Aquesta dada és mesurable anul·lant la influència del fons disposant un nombre gran de capes entre el suport i l'espectroradiòmetre, o bé calculable, en cas de tenir només una capa de teixit, a partir del model de Kubelka-Munk <sup>[Stea 1972; Ette 1986]</sup>.

Coneguda la reflectància del suport i la reflectància de les fibres, sembla que hauria de ser possible relacionar el factor de cobertura del teixit amb la reflectància del teixit. Simplificant el plantejament, si el teixit es presenta sobre un cos negre, que té una reflectància que podem considerar igual a zero, sembla que hauria de ser possible establir una relació entre la reflectància de les fibres, la reflectància del teixit sobre el cos negre i el seu factor de cobertura.

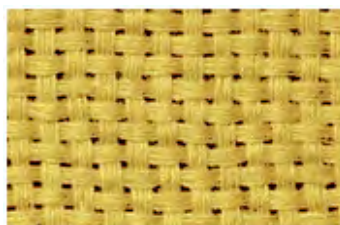


FIGURA 4.2.1-1. Imatge d'un teixit de calada mostrant la geometria no uniforme de la seva superfície.

La relació no seria simple perquè l'estructura del teixit i la geometria dels fils que el conformen fa que la reflectància no sigui uniforme en tota la seva superfície. La fig. 4.2.1-1 pretén il·lustrar aquesta idea. A més, la mesura de la reflectància de les fibres també comporta complicacions, començant per la pròpia obtenció de les fibres. Tanmateix existeixen treballs en els que s'han relacionat aquestes magnituds, si més no de forma simplificada. M. W. Keyes <sup>[Keye 1967]</sup>, l'any 1967, va elaborar un gràfic per poder determinar el coeficient d'atenuació solar interior d'unes cortines a partir del coneixement de la seva transmitància i reflectància o bé de la seva obertura ( $1-FC$ ) i de la reflectància dels fils (fig. 4.2.1-2). En cas que les propietats òptiques no fossin conegudes, el coeficient d'atenuació solar interior podia ser estimat per inspecció ocular gràcies a que l'ull humà pot distingir fàcilment entre teles atapeïdes, que permeten escassament el pas de radiació solar directa, i teles fluïxes, que permeten el lliure pas dels raigs de sol. Així doncs, en el gràfic (fig. 4.2.1-2) classificava els cortinatges segons l'obertura (obert, semiobert i tancat) i segons la seva luminància (fosc, mitjà i clar) (fig. 4.2.1-3). D'aquesta manera, tenint en compte aquestes dues classificacions, es generaven 9 subconjunts dins del gràfic, permetent alhora a l'usuari, amb una simple inspecció ocular del material, conèixer també de manera aproximada el coeficient d'atenuació solar interior. Aquest gràfic encara continua vigent als manuals de l'American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. <sup>[Ashr 2005]</sup>. De l'anterior, seria possible establir un pont directe entre la determinació del  $FC$  duta a terme al capítol 1 i la determinació del coeficient d'atenuació solar interior, en el sentit que, el coneixement objectiu del factor d'obertura del teixit ( $1-FC$ ), seria un avantatge per als pels tècnics en cortinatges ja que és una variable de la qual en depèn l'esmentat coeficient.

Table 22 Interior Solar Attenuation Coefficients for Single and Insulating Glass with Draperies

Glazing	Glass Transmission	Glazing SHGC (No Drapes)	IAC									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Single glass												
1/8 in. clear	0.86	0.87	0.87	0.82	0.74	0.69	0.64	0.59	0.53	0.48	0.42	0.37
1/4 in. clear	0.8	0.83	0.84	0.79	0.74	0.68	0.63	0.58	0.53	0.47	0.42	0.37
1/2 in. clear	0.71	0.77	0.84	0.80	0.75	0.69	0.64	0.59	0.55	0.49	0.44	0.40
1/4 in. heat absorbing	0.46	0.58	0.85	0.81	0.78	0.73	0.69	0.66	0.61	0.57	0.54	0.49
1/2 in. heat absorbing	0.24	0.44	0.86	0.84	0.80	0.78	0.76	0.72	0.68	0.66	0.64	0.60
Reflective coated	—	0.52	0.95	0.90	0.85	0.82	0.77	0.72	0.68	0.63	0.60	0.55
	—	0.44	0.92	0.88	0.84	0.82	0.78	0.76	0.72	0.68	0.66	0.62
	—	0.35	0.90	0.88	0.85	0.83	0.80	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65
	—	0.26	0.83	0.80	0.80	0.77	0.77	0.77	0.73	0.70	0.70	0.67
Insulating glass, 1/4-in. air space (1/8 in. out and 1/8 in. in)												
	0.76	0.77	0.84	0.80	0.73	0.71	0.64	0.60	0.54	0.51	0.43	0.40
Insulating glass 1/2-in. air space												
Clear out and clear in	0.64	0.72	0.80	0.75	0.70	0.67	0.63	0.58	0.54	0.51	0.45	0.42
Heat absorbing out and clear in	0.37	0.48	0.89	0.85	0.82	0.78	0.75	0.71	0.67	0.64	0.60	0.58
Reflective coated	—	0.35	0.95	0.93	0.93	0.90	0.85	0.80	0.78	0.73	0.70	0.70
	—	0.26	0.97	0.93	0.90	0.90	0.87	0.87	0.83	0.83	0.80	0.80
	—	0.17	0.95	0.95	0.90	0.90	0.85	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75

Interior Solar Attenuation (IAC)

Notes:

1. Interior attenuation coefficients are for draped fabrics.
2. Other properties are for fabrics in flat orientation.
3. Use fabric reflectance and transmittance to obtain accurate IAC values.
4. Use openness and yarn reflectance or openness and fabric reflectance to obtain the various environmental characteristics, or to obtain approximate IAC values.

Classification of Fabrics

- I = Open weave
- II = Semiopen weave
- III = Closed weave
- D = Dark color
- M = Medium color
- L = Light color

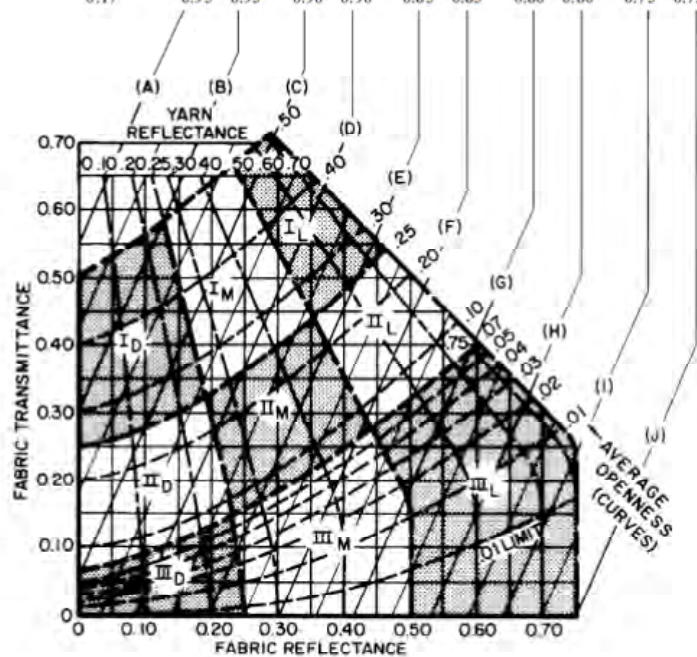
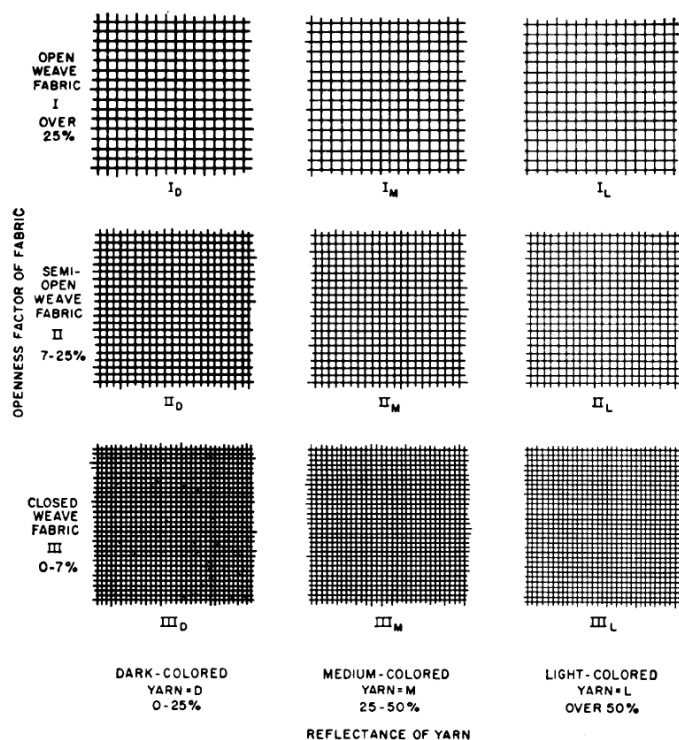


FIGURA 4.2.1-2. Keyes Universal Chart per a l'obtenció del coeficient d'atenuació solar interior (IAC) de les cortines en funció del vidre davant del qual han d'anar disposades [Ashr 2005].



**FIGURA 4.2.1-3.** Designació de les teles per a cortines segons Keyes <sup>[Ashr 2005]</sup>.

## **4.2.2. EL FC I LA REFLECTÀNCIA D'UNA PILA CREIXENT DE LÀMINES DE TEIXIT**

Els teixits de calada poden presentar motius de diversos colors. Els motius poden ser estampats o bé resultar de la diversitat de colors dels fils usats per a fabricar el teixit. Un cas particular d'aquests teixits són els teixits llisos que es caracteritzen per l'absència d'aquesta mena de motius i per presentar un color uniforme. Això és el que s'aprecia quan són mirats des d'una certa distància, mirats de lluny. En canvi, apropant-nos-hi prou, es pot començar a percebre la textura causada pel tipus de lligament que ha generat el teixit. L'entrellaçat dels fils i la geometria dels mateixos fils causa aquesta pèrdua d'uniformitat que presentava el teixit mirat a distància. En aquesta escala encara no es perceben de forma clara les fibres que conformen els fils.

Hem començat per limitar l'abast de l'estudi a teixits llisos, és a dir, teixits que presenten simple vista un únic color uniforme. En l'àmbit tèxtil, la determinació de la reflectància d'un teixit llis es realitza habitualment a partir d'un plec prou gruixut de làmines de teixit, com hem comentat a l'apartat anterior. El gruix ha de ser suficient per tal que, afegint-hi una làmina més, la mesura de la reflectància es mantingui estable.



El procés d'apilar làmines de teixit sobre un fons negre, comporta increments en la reflectància a mesura que la pila va creixent. La fig. 4.2.1-3 mostra aquest fet, amb una successió creixent de làmines de teixit apilades sobre un cos negre.

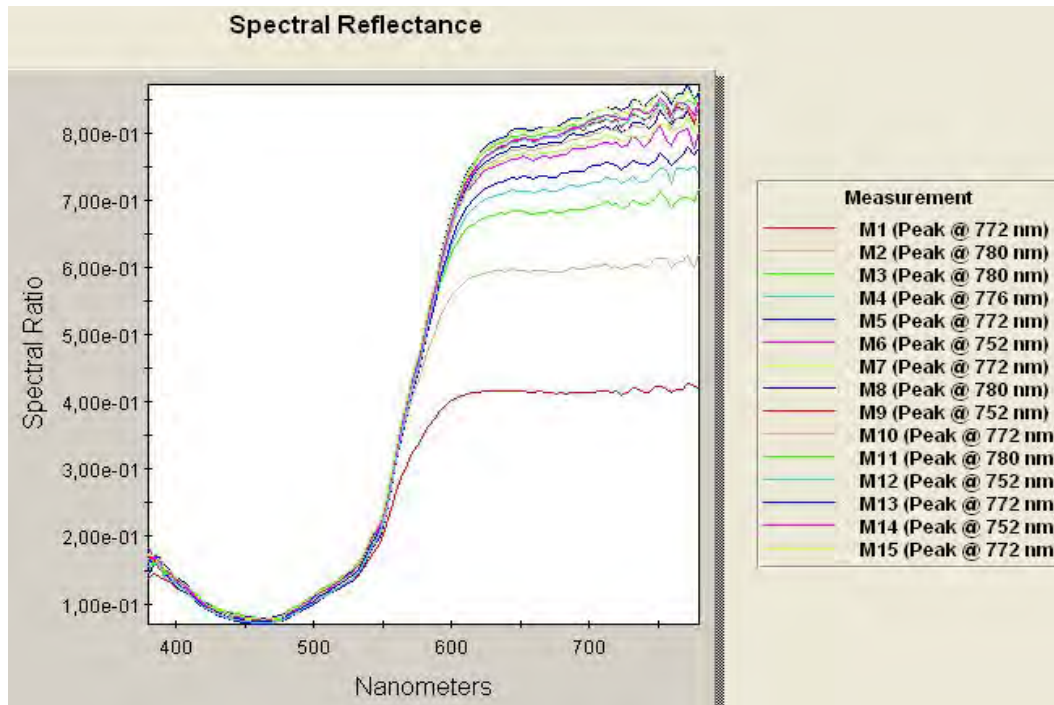


FIGURA 4.2.2-1. Reflectàncies mesurades en una pila creixent de la mostra de teixit *lli\_carbassa*.

Aquest comportament de les reflectàncies de les successives piles de làmines de teixit ha d'estar relacionat amb les característiques que s'esmentaven a la secció 4.2.1: el tipus de fibres utilitzades per fabricar els fils, les característiques del fil, els tints utilitzats per tenyir el fil o les fibres, també l'estructura del teixit (tipus de lligament) i, en especial, el *FC* del teixit.

L'objectiu que ens plantegem ara és examinar la relació entre la reflectància d'un teixit i el seu *FC*. I en aquest punt, la reflectància d'un teixit es refereix exactament a la successió de reflectàncies de làmines d'un mateix teixit acumulades progressivament, com les que es mostren a la fig. 4.2.2-1.

### 4.2.3 MODELITZACIÓ DE LA REFLECTÀNCIA D'UNA LÀMINA DE TEIXIT LLIS DISPOSADA SOBRE UN SUBSTRAT DE RECOLZAMENT OPAC AMB REFLECTÀNCIA CONEGUDA

Modelitzem la reflectància espectral  $R$  d'una làmina de teixit llis situada sobre un suport de recolzament opac, en base a la següent consideració:

$$R = R_C + R_O \quad (4.2.3-1)$$

on  $R_C$  representa la reflectància deguda a la part coberta pels fils i  $R_O$  la deguda a la part oberta del teixit (els forats).

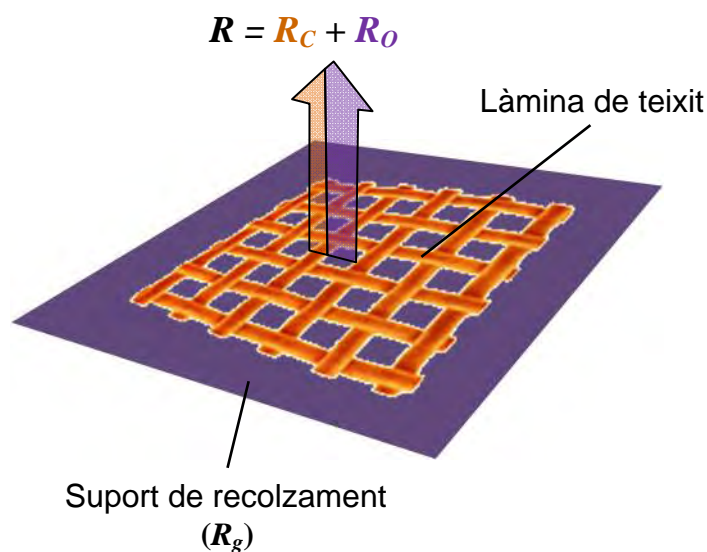


FIGURA 4.2.3-1. Làmina de teixit sobre el suport de recolzament.

El component  $R_C$  de la reflectància total, degut a l'àrea coberta, queda representat a la fig. 4.2.3-2, on la làmina de teixit es considera formada per una làmina uniforme d'un material homogeni equivalent (*MHE*) al que seria l'estructura de les fibres dels fils i que aconsegueix els requisits del model de Kubelka-Munk, més un filtre de transmitància depenent del sentit de la il·luminació, sense gruix, col·locat damunt i en contacte amb el *MHE*. Aquest filtre el caracteritzem per la seva transmitància,  $T_C$ , independent de la longitud d'ona, que presenta dos components, el d'entrada (o cap avall),  $T_{EC}$ , i el de sortida (o cap amunt)  $T_{SC}$ ,

$$T_{EC} = 1 \quad (4.2.3-2)$$

$$T_{SC} = \begin{cases} DN(x, y) & \text{a l'àrea coberta} \\ 0 & \text{a l'àrea oberta} \end{cases} \quad (4.2.3-2)$$

on  $DN(x, y)$  és un filtre de densitat neutra que conté la informació de la textura del teixit.

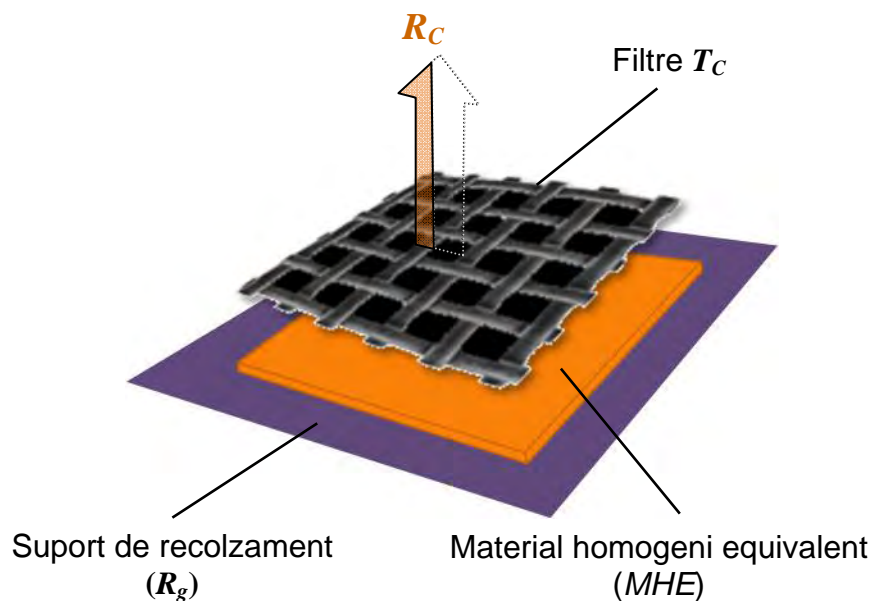
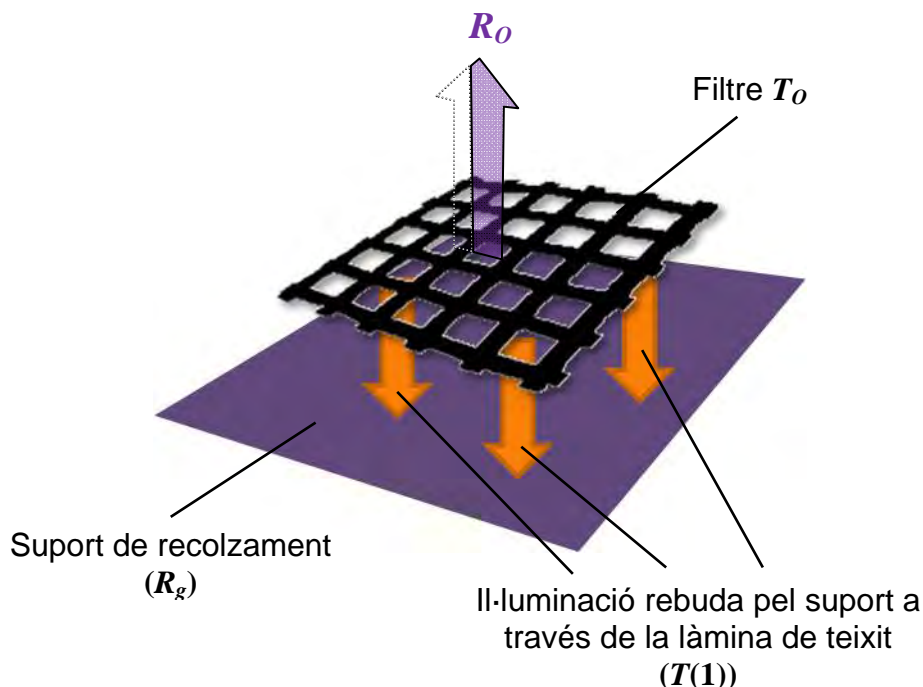


FIGURA 4.2.3-2. Representació del component de la reflectància degut a la part coberta,  $R_C$ .

D'altra banda, el component  $R_O$  de la reflectància espectral total, degut a l'àrea oberta, queda representat a la fig. 4.2.3-3, on el suport de recolzament es considera il·luminat per la llum que travessa la làmina de teixit (fletxes carbasses) que es caracteritza per la seva transmissió espectral  $T(1)$ , més un segon filtre de transmissió dependent del sentit de la il·luminació, sense gruix, col·locat damunt del suport de recolzament. Aquest filtre el caracteritzem per la seva transmissió  $T_O$  que presenta dos components, el d'entrada (o cap avall),  $T_{EO}$ , i el de sortida (o cap amunt)  $T_{SO}$ ,

$$T_{EO} = T(1) \text{ o transmissió d'una làmina de teixit} \quad (4.2.3-3)$$

$$T_{so} = \begin{cases} 0 & \text{a l'àrea coberta} \\ 1 & \text{a l'àrea oberta.} \end{cases} \quad (4.2.3-4)$$



**FIGURA 4.2.3-3.** Representació del component de la reflectància degut a la part oberta,  $R_o$ .

#### 4.2.4 FORMULACIÓ DEL MODEL PRESENTAT

A continuació anem a desenvolupar l'expressió 4.2.3-1. El component de la reflectància total de la làmina de teixit degut a la part coberta,  $R_C$ , queda definit pel producte de la reflectància del *MHE*, que ve regida per l'expressió kubelkiana (4.1.3-4), i la transmissió de sortida  $T_{SC}$  del filtre de doble sentit,

$$R_C = T_{sc} \frac{1 - R_g (a - b \coth(bSh))}{a + b \coth(bSh) - R_g}. \quad (4.2.4-1)$$

D'altra banda, el component de la reflectància total degut a la part oberta,  $R_o$ , és degut a la llum que prové, a través dels forats de la tela, del suport de recolzament il·luminat a través de la capa de teixit. Per tant, és el producte de la reflectància del suport de

recolzament,  $R_g$ , la transmitància espectral d'una làmina de teixit  $T(1)$  i la transmitància "cap amunt" del filtre de doble sentit,  $T_{SO}$

$$R_o = T(1) \cdot R_g \cdot T_{SO} \cdot \quad (4.2.4-2)$$

Substituint aquests valors a l'expressió (4.2.3-1) de la reflectància total,

$$R = T_{SC} \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) + T(1) \cdot R_g \cdot T_{SC} \cdot \quad (4.2.4-3)$$

A l'hora de mesurar reflectàncies amb l'espectroradiòmetre, el valor que obtenim és un valor integrat en tota l'àrea del seu sensor. Aleshores, i per ser congruents amb l'aparell de mesura, el que ens interessa calcular és el valor mitjà de la reflectància del conjunt format per la làmina de teixit + suport de recolzament. Analitzarem els dos components de la reflectància per separat. Comencem pel component de la reflectància degut a la part coberta pels fils,  $R_C$ , que d'ara endavant durà barret, significant que es tracta del valor mitjà,  $\overline{R_C}$ . Si anomenem  $A_T$  a l'àrea total ocupada pel teixit, la reflectància promig de la part coberta pels fils es descriu com

$$\overline{R_C} = \frac{1}{A_T} \iint_{A_T} R_C dx dy = \frac{1}{A_T} \iint_{A_T} T_{SC} \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) dx dy. \quad (4.2.4-4)$$

Com que les úniques variables que depenen de la posició són  $T_{SC}$  i  $T_{SO}$  ((4.2.3-2) i (4.2.3-4)), la resta poden sortir de la integral (4.2.4-4):

$$\overline{R_C} = \frac{1}{A_T} \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) \iint_{A_T} T_{SC} dx dy. \quad (4.2.4-4)$$

Descomponent la integral de superfície en suma de la integral sobre la part coberta pels fils,  $A_C$ , i la part oberta,  $A_O$ , obtenim

$$\overline{R}_C = \frac{1}{A_T} \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) \left[ \iint_{A_C} T_{SC} dx dy + \iint_{A_O} T_{SC} dx dy \right] \quad (4.2.4-5)$$

i tenint en compte (4.2.3-2),

$$\overline{R}_C = \frac{1}{A_T} \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) \left[ \iint_{A_C} DN(x, y) dx dy \right] \quad (4.2.4-6)$$

Admetent que  $DN(x, y)$  sigui una funció contínua dintre del domini en el qual està definida (l'àrea coberta), ens és permès d'aplicar el teorema del valor mitjà de la integral a l'expressió (4.2.4-6) d'aquesta forma

$$\iint_{A_C} DN(x, y) dx dy = A_C DN(x_0, y_0), \quad (4.2.4-7)$$

on  $(x_0, y_0)$  és un punt que pertany a l'àrea coberta.

Substituint l'eq. (4.2.4-7) a (4.2.4-6) s'obté

$$\begin{aligned} \overline{R}_C &= \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) \cdot \frac{A_C}{A_T} \cdot DN(x_0, y_0) \\ &= \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) \cdot FC \cdot DN(x_0, y_0), \end{aligned} \quad (4.2.4-8)$$

en la que és interessant notar que el quocient  $\frac{A_C}{A_T}$  és el  $FC$  de la làmina de teixit i el punt  $(x_0, y_0)$  pertany a la seva àrea coberta. El valor  $DN(x_0, y_0)$  vindria a ser el promig de la funció  $DN$  sobre la regió  $A_C$ .

Seguidament, farem un desenvolupament paral·lel a l'anterior per a la reflectància corresponent a la part oberta del teixit,  $R_O$ . Pel mateix motiu explicat anteriorment, i atès que la mesura de la reflectància feta amb l'espectroradiòmetre és integrada, li posarem un

barret,  $\overline{R}_O$ , fent referència a que es tracta d'un valor promig. Així doncs, reprenent l'expressió (4.2.4-2),

$$\overline{R}_O = \frac{1}{A_T} \iint_{A_T} R_O dx dy = \frac{1}{A_T} \iint_{A_T} T(1) R_g T_{SO} dx dy. \quad (4.2.4-9)$$

Descomponem la integral de (4.2.4-9) com a suma de la integral en la part coberta i oberta

$$\overline{R}_O = \frac{1}{A_T} \left[ \iint_{A_C} T(1) R_g T_{SO} dx dy + \iint_{A_O} T(1) R_g T_{SO} dx dy \right]. \quad (4.2.4-10)$$

Aplicant (4.2.3-4) a (4.2.4-10),

$$\overline{R}_O = \frac{1}{A_T} \iint_{A_O} T(1) R_g dx dy. \quad (4.2.4-11)$$

Traiem fora de la integral les variables que no depenen de  $(x, y)$  i aplicant el teorema del valor mitjà,

$$\overline{R}_O = R_g \frac{1}{A_T} \iint_{A_O} T(1) dx dy = R_g \frac{A_O}{A_T} \overline{T(1)}, \quad (4.2.4-12)$$

on  $\overline{T(1)}$  s'interpretaria com la transmitància promig d'una làmina de teixit, i  $\frac{A_O}{A_T}$  és el factor d'obertura del teixit, o sigui,

$$\overline{R}_O = R_g (1 - FC) \overline{T(1)}. \quad (4.2.4-13)$$

Finalment, la reflectància promig  $\bar{R}$  d'una làmina de teixit disposada sobre un suport de recolzament qualsevol amb reflectància uniforme  $R_g$  s'expressa com la suma de (4.2.4-8) i (4.2.4-13)

$$\bar{R} = \overline{R_C} + \overline{R_O} \quad (4.2.4-14)$$

$$\bar{R} = DN(x_0, y_0) \cdot FC \cdot \left( \frac{1 - R_g(a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_g} \right) + \overline{T(1)} (1 - FC) R_g \quad (4.2.4-15)$$

Adonem-nos que el  $FC$  és present en els dos components de la reflectància de la mostra de teixit.

## 4.2.5 GENERALITZACIÓ DEL MODEL A UNA PILA CREIXENT DE LÀMINES DE TEIXIT

Sigui  $R_m(k)$  la reflectància mesurada d'una pila de  $k$  làmines de teixit. Com que el suport utilitzat per recolzar-les és un cos negre, considerarem que la seva reflectància mesurada és  $R_m(0) = 0$ . En aquests termes, podem formular la reflectància de la capa  $k+1$  a partir de l'expressió (4.2.4-15), tenint present que per a aquesta làmina la reflectància del suport de recolzament és la reflectància mesurada de la pila de  $k$  làmines, o sigui,  $R_g = R_m(k)$

$$R_m(k + 1) = A FC \frac{1 - R_m(k) \cdot (a - b \cdot \coth(bSh))}{a + b \cdot \coth(bSh) - R_m(k)} + B (1 - FC) R_m(k). \quad (4.2.5-1)$$

on, per fer menys feixuga la notació, anomenem  $DN(x_0, y_0) = A$  i  $\overline{T(1)} = B$

Recordem que el coeficient  $A$  no depèn de la longitud d'ona, mentre que el coeficient  $B$  sí. A més, de l'eq. (4.1.3-4), per a la làmina  $MHE$  de la fig. 4.2.3-2 disposada damunt del cos negre i que a compleix el model de Kubelka-Munk, la reflectància del substrat  $R_g = 0$  i, per tant, la seva reflectància ( $R_{MHE}$ ) val:



$$R_{MHE} = \frac{1}{a + b \cdot \coth(bSh)} \quad (4.2.5-2)$$

D'aquesta manera, la reflectància mesurada d'una làmina de teixit serà la reflectància de la làmina *MHE* (4.2.5-2) multiplicada per *FC* i el coeficient *A* descrit anteriorment:

$$R_m(1) = \frac{A \cdot FC}{a + b \cdot \coth(bSh)} \quad (4.2.5-3)$$

Aïllant el denominador de l'eq. (4.2.5-3) i substituint-lo a (4.2.5-1), aquesta quedarà força més simplificada.

$$R_m(k+1) = A \cdot FC \cdot \frac{1 - R_m(k) \cdot (a - b \cdot \coth(bSh))}{\frac{A \cdot FC}{R_m(1)} - R_m(k)} + B \cdot (1 - FC) \cdot R_m(k). \quad (4.2.5-4)$$

Traient el denominador de (4.2.5-4)

$$\begin{aligned} R_m(k+1) \left[ \frac{A \cdot FC}{R_m(1)} - R_m(k) \right] &= \\ &= A \cdot FC \cdot [1 - R_m(k) \cdot (a - b \cdot \coth(bSh))] + B \cdot (1 - FC) \\ &\cdot R_m(k) \left[ \frac{A \cdot FC}{R_m(1)} - R_m(k) \right], \end{aligned} \quad (4.2.5-5)$$

desenvolupant l'expressió (4.2.5-5)

$$\begin{aligned} \frac{R_m(k+1)}{R_m(1)} \cdot A \cdot FC - R_m(k+1) \cdot R_m(k) &= \\ &= A \cdot FC - A \cdot FC \cdot R_m(k) \cdot (a - b \cdot \coth(bSh)) + B \cdot (1 - FC) \cdot \frac{A \cdot FC}{R_m(1)} \\ &\cdot R_m(k) - B \cdot (1 - FC) \cdot R_m^2(k) \end{aligned} \quad (4.2.5-6)$$

i aïllant de (4.2.5-6) arribem a

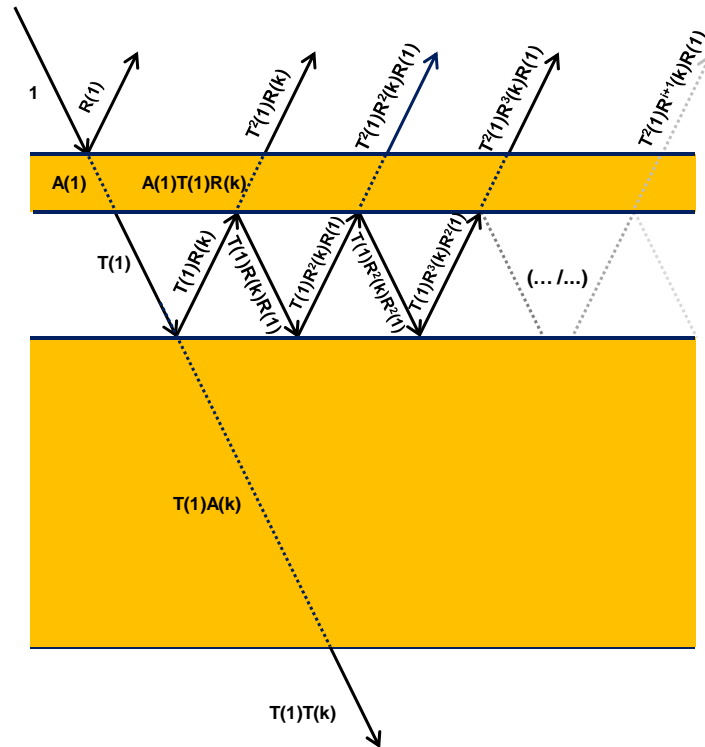
$$\begin{aligned}
 R_m(k+1) \cdot R_m(k) &= \\
 &= \mathbf{A \cdot FC} \cdot \left( \frac{R_m(k+1)}{R_m(1)} - 1 \right) \\
 &+ [\mathbf{A \cdot FC} \cdot (\mathbf{\alpha - b \cdot coth(bSh)}) - (\mathbf{1 - FC}) \cdot \mathbf{A \cdot FC}] \\
 &\cdot R_m(k) + (\mathbf{1 - FC}) \cdot B \cdot R_m^2(k).
 \end{aligned} \tag{4.2.5-7}$$

Si, per fer menys llarga l'expressió (4.2.5-7), reanomenem les variables acolorides com  $\alpha$ ,  $\beta$ , i  $\gamma$  i recuperem el valor veritable de  $B = \overline{T(1)}$ , obtenim la següent expressió final per a cada longitud d'ona i cada valor de  $k$ ,

$$\begin{aligned}
 R_m(k+1) \cdot R_m(k) &= \\
 &= \alpha \cdot \left( \frac{R_m(k+1)}{R_m(1)} - 1 \right) + \beta \cdot R_m(k) + \gamma \cdot \overline{T(1)} \cdot R_m^2(k)
 \end{aligned} \tag{4.2.5-8}$$

on, recordem,  $\alpha$  i  $\gamma$  no depenen de la longitud d'ona mentre que  $\beta$  sí. Convé tenir present que  $h$  representa el gruix de la làmina MHE, descrita a l'apartat 4.2.3, que satisfà les hipòtesis de la teoria de Kubelka-Munk. Les reflectàncies  $R_m$  es mesuren experimentalment i, per tant,  $R_m(k+1) \cdot R_m(k)$ ,  $\left( \frac{R_m(k+1)}{R_m(1)} - 1 \right)$  i  $R_m(k)$  són coeficients coneguts mentre que  $\overline{T(1)} \cdot R_m^2(k)$  no ja que, d'entrada, desconeixem  $\overline{T(1)}$  que és la transmitància promig d'una làmina de teixit.

Malgrat tot, el valor de la transmitància d'una làmina de teixit,  $\overline{T(1)}$  es pot determinar a partir de les reflectàncies experimentals <sup>[Hébe 2007]</sup>. A continuació se'n presenten els detalls. Tinguem present que, pel fet de tractar-se d'una làmina de teixit real, difusor, la seva transmitància és simètrica en els dos sentits de la il·luminació. L'esquema de la fig. 4.2.5-1 pretén il·lustrar la fraccions de flux radiant que torna enrere per part d'un plec de  $(k+1)$  làmines de teixit difusores. S'ha representat un únic component tant de la reflectància com de la transmitància, a fi de fer l'esquema entenedor. Sigui un flux radiant de magnitud unitat que arriba a la capa superficial. D'aquest, la fracció  $R(1)$  torna enrere, la fracció  $A(1)$  és absorbida i la fracció  $T(1)$  és transmesa. Al segon nivell, el plec de  $k$  làmines, de la llum que hi arriba, es reflectirà la fracció  $T(1)R(k)$  que acabarà emergint a l'exterior com  $T^2(1)R(k)$ . Hi haurà una part de la fracció  $T(1)R(k)$  que es reflectirà cap avall, donant la fracció  $T(1)R(k)R(1)$  que, en trobar-se amb el plec de  $k$  làmines, tornarà a reflectir-se donant la fracció  $T(1)R^2(k)R(1)$  de la que en sortirà cap amunt la fracció  $T^2(1)R^2(k)R(1)$ . De manera general, per a la  $i$ -èsima reflexió entre la làmina de teixit i el plec de  $k$  làmines, la llum reemesa serà  $T^2(1)R^{i+1}(k)R^i(1)$ . Recapitulant, la reflectància d'un plec de  $k+1$  làmines de tela es pot escriure com la suma de  $R(1)$  més una sèrie convergent de raó  $R(k)R(1)$ :



**FIGURA 4.2.5-1.** Reflexió-transmissió múltiple de la llum entre una làmina de teixit i una pila de  $k$  làmines.  $A(1)$ ,  $R(1)$  i  $T(1)$ , són les fraccions de llum absorbida, reflectida i transmesa per la capa superficial de teixit.  $A(k)$ ,  $R(k)$  i  $T(k)$ , són les fraccions de llum absorbida, reflectida i transmesa per la pila de  $k$  làmines de teixit.

$$\begin{aligned}
 R(k+1) &= R(1) + T^2(1)R(k) + T^2(1)R^2(k)R(1) + T^2(1)R^3(k)R^2(1) \\
 &+ \dots = R(1) + T^2(1) \frac{R(k)}{1 - R(k)R(1)}
 \end{aligned}
 \tag{4.2.5-9}$$

Ara, doncs, podem aïllar  $T(1)$  de (4.2.5-9):

$$T(1) = \sqrt{\frac{(R(k+1) - R(1))(1 - R(k)R(1))}{R(k)}} = \overline{T(1)}
 \tag{4.2.5-10}$$

Tinguem present que el que ens interessa és  $\overline{T(1)}$ . Atès que les mesures de  $R$  que fem ja són mitjanes sobre una regió, el valor de  $T(1)$  que proporcionen no depèn de  $(x, y)$  i, per tant, coincideix amb la mitjana.

És interessant notar que l'eq. (4.2.5-10) permet calcular la transmitància d'una làmina de teixit a partir només de la reflectància d'1, de  $k$  i de  $k + 1$  capes. També remarcar que  $T(1)$  s'ha calculat com el promig de les diferents transmitàncies que s'obtenen pel fet d'anar variant el nombre de làmines de teixit,  $k$ .

Seguint amb el desenvolupament de l'eq. (4.2.5-8), obtenim un sistema d'equacions lineals lligant els valors  $R_m(k + 1) \cdot R_m(k)$  i  $\left(\frac{R_m(k+1)}{R_m(1)}\right)$ ,  $R_m(k)$ ,  $T(1) \cdot R_m^2(k)$  amb les incògnites  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ . Només  $\beta$  depèn de la longitud d'ona. Aquest sistema ha de ser resolt per mínims quadrats, perquè té més equacions  $((m - 1) \cdot n)$  que incògnites  $(n + 2)$  (on  $m$  és el número de làmines i  $n$  el de longituds d'ona), a part que la incertesa inherent en les mesures de reflectància pot donar lloc a incompatibilitats.

Com ja hem fet notar abans, la informació sobre el FC es troba continguda als coeficients  $\alpha$  i  $\gamma$ , els quals, segons hem esmentat anteriorment, no depenen de la longitud d'ona. El FC és proporcional al terme independent  $\alpha$  del model anterior

$$A \cdot FC = DN(x_0, y_0) \cdot FC. \quad (4.2.5-11)$$

Com que  $A$  està relacionat amb les característiques de construcció del teixit i els fils que el conformen, per a cada tipus de roba tindrà un valor diferent. El coeficient  $\gamma$  és directament  $(1 - FC)$  o sigui, el factor d'obertura del teixit. Semblaria que aquesta última seria la via més directa per aconseguir extraure el valor del FC a partir de les reflectàncies d'una pila creixent de capes de teixit, més que no pas a partir del coeficient  $\alpha$ , on queda determinat llevat de la constant  $A$ . D'altra banda, la transmitància  $\overline{T(1)}$  d'una làmina de teixit som capaços de calcular-la a partir de l'eq. (4.2.5-10).

Notem que, per tant, l'expressió (4.2.5-8) és un sistema de  $(m-1) \times n$  equacions al que s'hauran d'ajustar dades experimentals.

$$\begin{pmatrix} R_{\lambda_1}(2) \cdot R_{\lambda_1}(1) \\ R_{\lambda_1}(3) \cdot R_{\lambda_1}(2) \\ R_{\lambda_1}(4) \cdot R_{\lambda_1}(3) \\ \dots \\ R_{\lambda_1}(m) \cdot R_{\lambda_1}(m-1) \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{\lambda_1}(2)/R_{\lambda_1}(1)-1 & R_{\lambda_1}(1) & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_1}(1) \cdot R_{\lambda_1}^2(1) \\ R_{\lambda_1}(3)/R_{\lambda_1}(1)-1 & R_{\lambda_1}(2) & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_1}(1) \cdot R_{\lambda_1}^2(2) \\ R_{\lambda_1}(4)/R_{\lambda_1}(1)-1 & R_{\lambda_1}(3) & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_1}(1) \cdot R_{\lambda_1}^2(3) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{\lambda_1}(m)/R_{\lambda_1}(1)-1 & R_{\lambda_1}(m-1) & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_1}(1) \cdot R_{\lambda_1}^2(m-1) \\ \hline R_{\lambda_2}(2)/R_{\lambda_2}(1)-1 & 0 & R_{\lambda_2}(1) & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_2}(1) \cdot R_{\lambda_2}^2(1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{\lambda_2}(m)/R_{\lambda_2}(1)-1 & \dots & R_{\lambda_2}(m-1) & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & T_{\lambda_2}(1) \cdot R_{\lambda_2}^2(m-1) \\ \hline R_{\lambda_3}(2)/R_{\lambda_3}(1)-1 & 0 & 0 & R_{\lambda_3}(1) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{\lambda_n}(m)/R_{\lambda_n}(1)-1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & R_{\lambda_n}(m-1) & T_{\lambda_n}(1) \cdot R_{\lambda_n}^2(m-1) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ \dots \\ c_n \\ c_{n+1} \end{pmatrix} \tag{4.2.5-11}$$

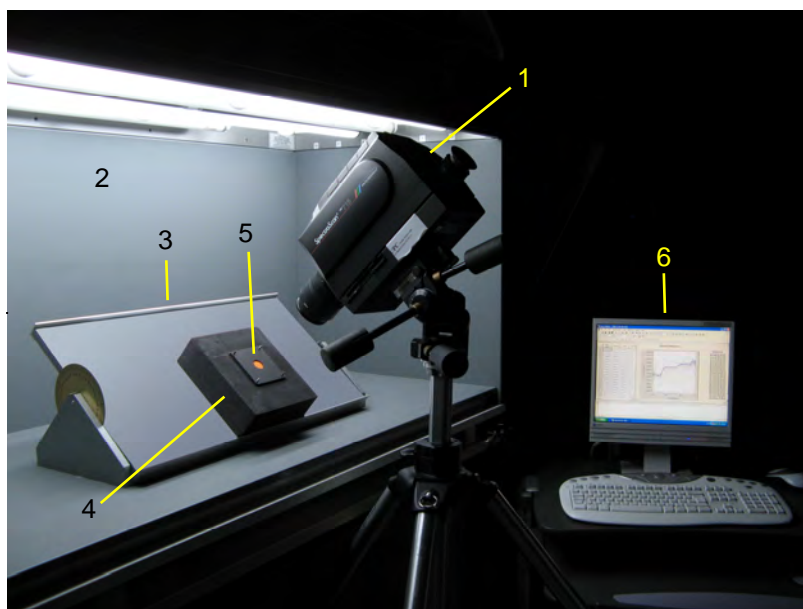
De l'ajustament per mínims quadrats de les dades experimentals al sistema anterior, obtindrem  $n + 2$  coeficients, dels quals, com hem comentat anteriorment, ens interessen només el primer,  $c_0 = \alpha = A \cdot FC$  i/o l'últim,  $c_{n+1} = \gamma = (1 - FC)$ .

### 4.3 DISPOSITIU EXPERIMENTAL

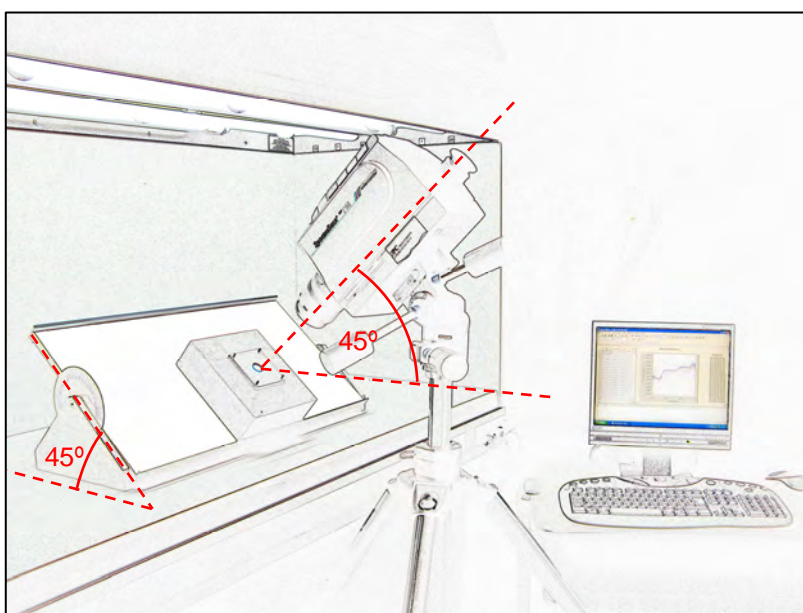
A la fig. 4.3-1(a) es mostra el dispositiu experimental per a la mesura de la reflectància dels teixits. L'espectroradiòmetre (1) PR-715 de la família SpectraScan de Photo Research duu acoblat l'objectiu MS-55 que hem fet treballar amb una obertura angular d'1°. Això implica un camp objecte circular d'uns 10 mm de diàmetre. L'espectroradiòmetre es comanda íntegrament a través d'un PC (6) i el programari comercial Spectrawin que, alhora, va mostrant els registres de reflectància obtinguts a la pantalla del monitor. L'il·luminant utilitzat, D-65, és un dels que venen incorporats a la cabina d'il·luminació (2) de la casa VeriVide, model CAC 120H4 que ofereix una il·luminació totalment difosa de la mostra. L'interior de la cabina està cobert d'una pintura gris neutre mat, de manera que no incorpora cap informació cromàtica addicional a la de l'il·luminant. La mostra de teixit està col·locada sobre un cos negre (4) construït amb una capsa de fusta amb un recobriment interior i exterior negre mat i un diàmetre de forat de 15 mm. A la fig. 4.3-2 es poden apreciar les seves dimensions.

Continuant amb la descripció de la fig. 4.3-1(a), podem observar que el cos negre està situat sobre un suport inclinat (3) que també està recobert de la mateixa pintura que la cabina (2). La fig. 4.3-1(b) il·lustra la configuració il·luminant-mostra-

espectroradiòmetre. La il·luminació de la mostra és difusa i, com ja hem pogut veure, prové de la part superior de la cabina. La mostra forma una angle de  $45^\circ$  amb l'horitzontal, igual que l'espectroradiòmetre, fet que permet fer la mesura de la reflectància de manera normal a la superfície del teixit.



(a)



(b)

**FIGURA 4.3-1.** (a) Dispositiu experimental per a la mesura de reflectàncies: 1, espectroradiòmetre; 2, cabina d'il·luminació; 3, suport d'inclinació regulable; 4, cos negre; 5, suport per a la subjecció de les mostres tèxtils; 6, ordinador. (b) Detall de la configuració mostra-espectroradiòmetre.

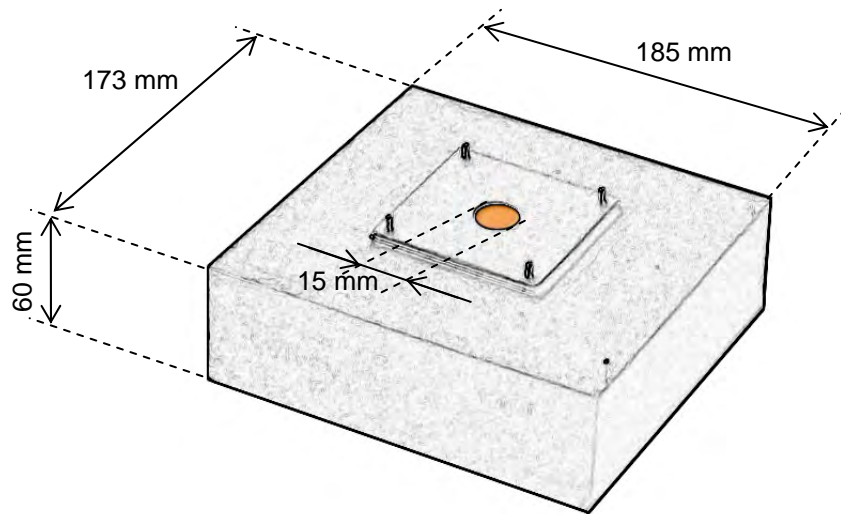


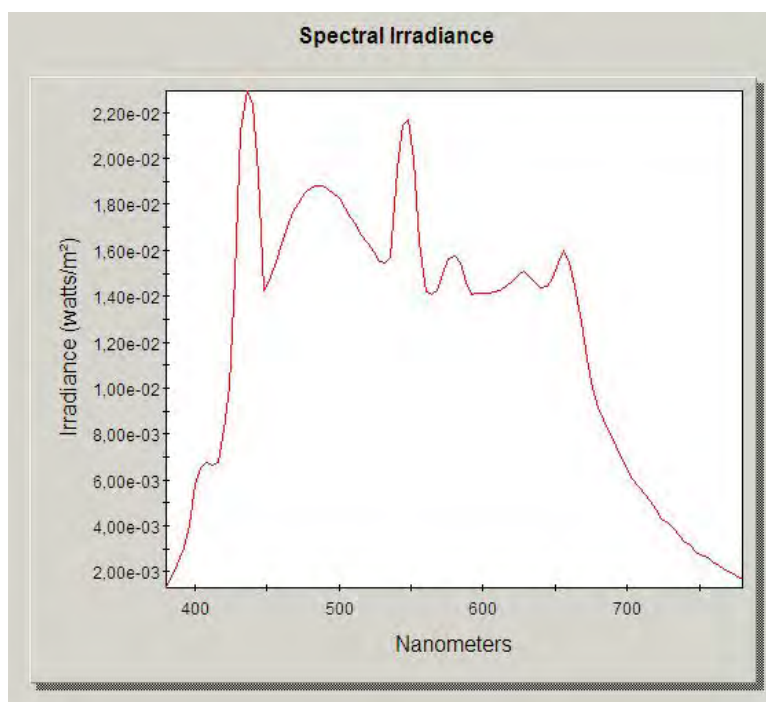
FIGURA 4.3-2. Esquema de la capsa utilitzada per al cos negre.

## 4.4 PRESA DE MESURES

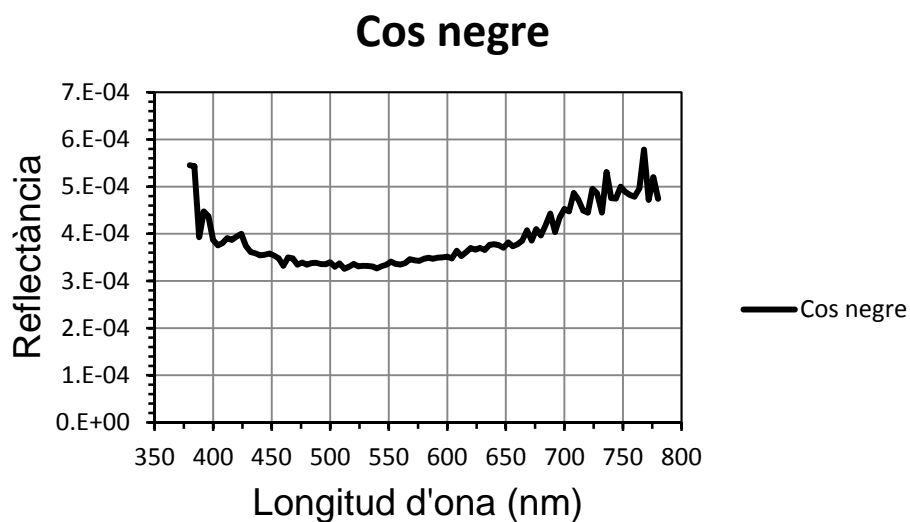
### 4.4.1 CALIBRATGE INICIAL

Per a la mesura de les reflectàncies, és necessari caracteritzar l'il·luminant amb el difusor estàndard SRS-3 que està calibrat per tal de donar reflectàncies espectrals absolutes. La fig. 4.4.1-1 mostra el gràfic d'irradiància espectral del difusor SRS-3 il·luminat amb l'il·luminant D65 integrat en la cabina d'il·luminació.

D'altra banda, el cos negre sobre el que recolzem les mostres de tela pretén ser un substrat que absorbeixi la llum que travessa la roba, de manera que la que torni enrere sigui per pura difusió deguda a les fibres del teixit. Si tractem el cos negre com un hipotètic substrat material i en mesurem la seva "reflectància", comprovem que és de l'ordre de  $10^{-4}$  (fig. 4.4.1-2). En representar-la simultàniament amb la reflectància d'una mostra de tela (lli\_carbassa), podem considerar-la nul·la ja que, com es pot comprovar a la fig. 4.4.1-3, hi ha entre 2 i 3 ordres de magnitud de diferència, cosa que fa que la gràfica corresponent al cos negre sigui una línia horitzontal al valor 0 de l'eix de reflectàncies.



**FIGURA 4.4.1-1.** Gràfic d'irradiància espectral rebuda pel difusor SRS-3 il·luminat amb l'il·luminant D65 de la cabina d'il·luminació.



**FIGURA 4.4.1-2.** Reflectància del cos negre.



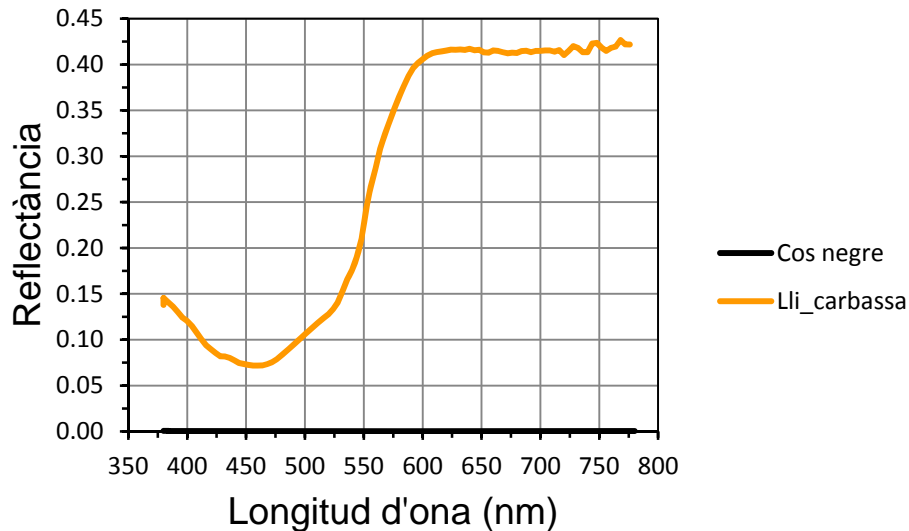


FIGURA 4.4. 1-3 Reflectància del cos negre i la d'una làmina de roba

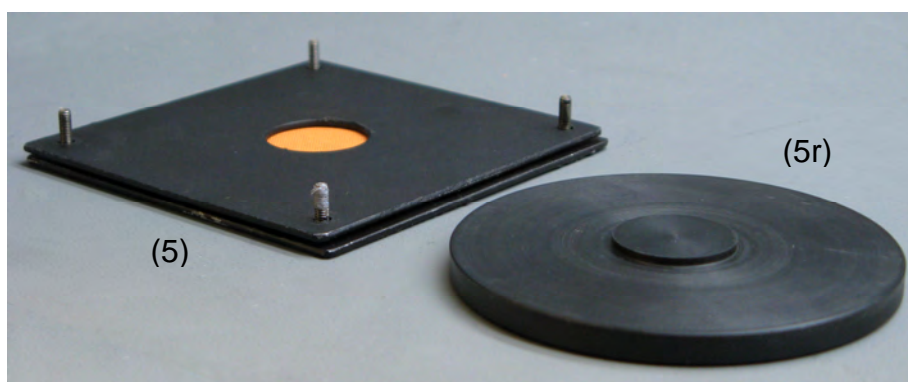
#### 4.4.2 MESURA DE LA REFLECTÀNCIA D'UNA PILA CREIXENT DE LÀMINES DE TEIXIT

Les reflectàncies d'una pila creixent de capes de teixit han estat preses tenint en compte els següents detalls:

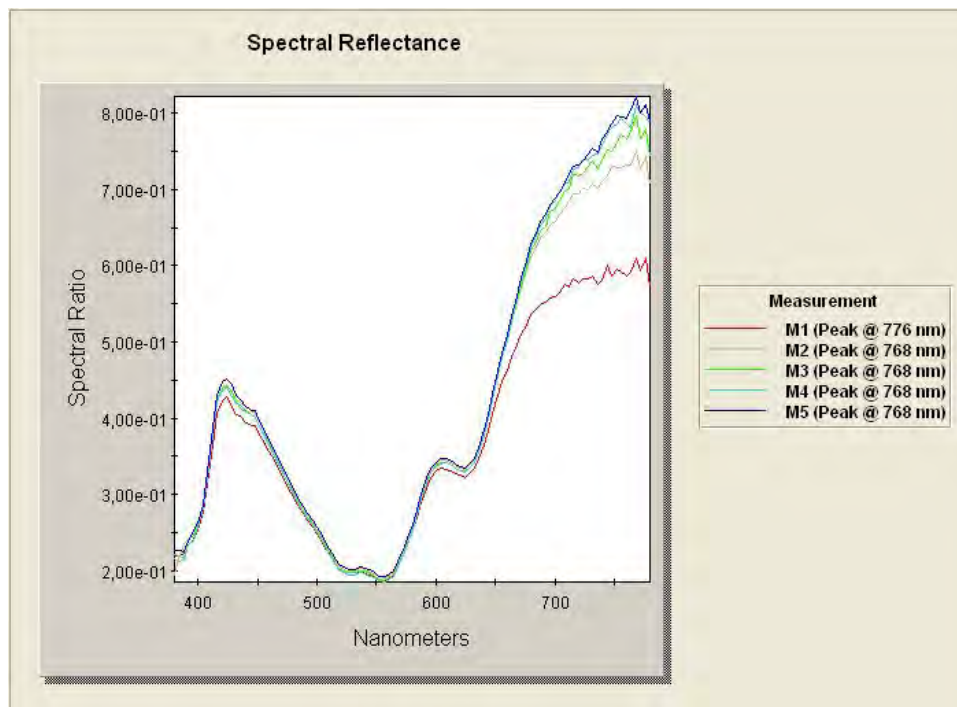
- a) En cada procés d'afegir una nova capa de tela, el suport (5) de la fig. 4.3-1(a) ha estat prèviament retirat de la capsa del cos negre (4) per tal de poder disposar-lo horitzontalment i que les làmines de roba, en el moment de manipular-les, no rellisquessin cap avall com seria el cas.
- b) El suport (5) (fig. 4.4.2-1) es disposa sobre una base de recolzament (5r) que conté un repujat de les dimensions del forat del suport per tal que, en el moment de manipular les mostres de roba, aquestes descansin sobre una base plana en tota la seva extensió. Aquest suport (5) consisteix en dues planxes de ferro idèntiques, amb un forat central de 15 mm de diàmetre i uns petits espàrrecs verticals que les uneixen. Per afegir una làmina de tela es retira la planxa de dalt, es disposa la mostra roba, i es torna a col·locar, formant així una mena d'entrepà de ferro i tela.
- c) Les reflectàncies s'han mesurat en l'interval de longituds d'ona comprès entre 380 i 780 nm, en increments de 4 nm, el que resulta en un total de 101 valors de longituds d'ona analitzats ( $n = 101$ )

- d) En la successiva disposició de les capes de tela s'ha procurat abastar totes les orientacions possibles, de manera aleatòria i homogènia, a fi d'intentar construir un bloc de roba que omplís l'espai de la manera més isòtropa possible, aconseguint que la distribució volumètrica de forats i fils fos ben uniforme.
- e) La mesura de reflectàncies s'inicia amb una única làmina de tela a la que s'hi van afegint successivament una segona, una tercera, etc. de manera que les reflectàncies van guanyant valor fins que arriba el moment en que, afegint una següent làmina més, el valor de la reflectància ja no augmenta. A partir d'aquí, per més capes de tela que anem afegint, el valor de la reflectància roman invariant. Hem arribat al moment de la saturació. Aquest és el criteri amb el qual s'han efectuat les mesures, arribar al nombre mínim de capes de tela que condueix a la saturació de la reflectància. Aquest nombre mínim de capes és diferent per a cada tipus de mostra i depèn de diversos paràmetres: *FC*, color de la roba, propietats òptiques dels fils, diàmetre dels fils, etc.

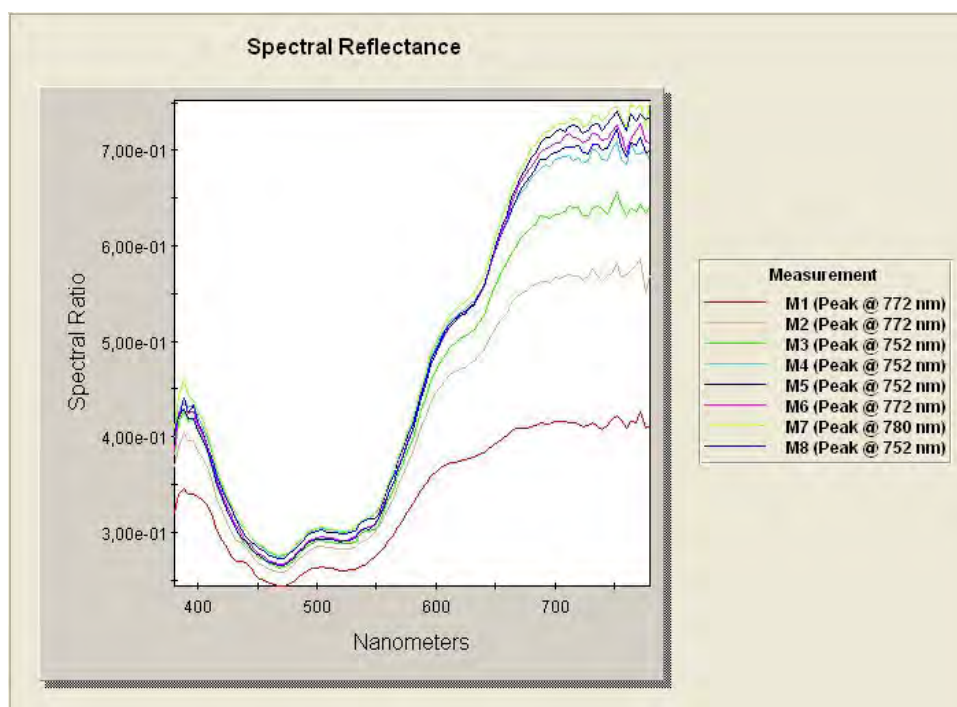
Un exemple de les corbes de reflectància fins la saturació assolits per una mostra (p. ex. lli\_carbassa,  $FC = 0.811$ ) es troba a la fig. 4.2.2-1. És interessant notar com decau la velocitat de creixement de la reflectància en anar afegint capes i com s'estanca prop de la saturació. La fig. 4.4.2-2(a) mostra les corbes de reflectància de la mostra c\_lila i la fig. 4.4.2-2(b) les de la mostra rosa2. Adonem-nos que, en les zones on la reflectància té els valors més baixos, no hi ha diferenciació esperada de les diferents corbes, com passa per als valors grans reflectància. En aquest cas, la presència del soroll de l'aparell de mesura emmascara la seqüència creixent i ordenada de les corbes de reflectància, i no aporta informació útil per a la determinació del *FC*. Aleshores, per evitar l'anterior, en l'algorisme de càlcul només s'han tingut en compte les longituds d'ona en les que, per a la primera capa de tela, els seus valors de reflectància són iguals o més grans que el 50% de la reflectància màxima.



**FIGURA 4.4.2-1.** Detall del suport (5), per subjectar les làmines de roba, i de la base de recolzament (5r).



(a)



(b)

**FIGURA 4.4.2-2.** (a) Gràfic de reflectàncies de la mostra c\_lila ( $FC = 0,970$ ) i (b) de la mostra rosa\_2 ( $FC = 0,8435$ ).

### **4.4.3 MOSTRES ANALITZADES**

Les característiques de les 20 mostres analitzades són:

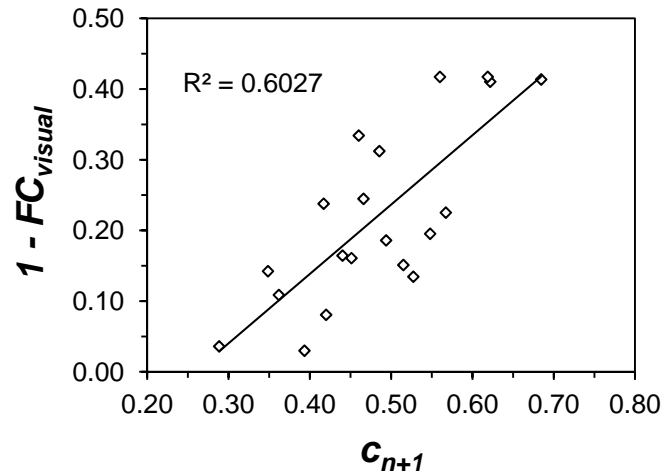
- Presentar factors de cobertura entre 0.60 i 0.97, estant el 66% compreses entre els valors de *FC* de 0.7 i 0.91.
- Ser teixides a la plana.
- Presentar un aspecte mat.
- Abastar, dins del possible i entre totes, tota la gama cromàtica de l'espectre visible.

Les mostres van ser fotografiades amb microscopi per tal de valorar visualment el seu *FC*. L'Annex IV recull les mostres escanejades sobre fons blanc i sobre fons negre per a una apreciació del seu aspecte, els gràfics de reflectàncies i els valors de *FC* visuals.

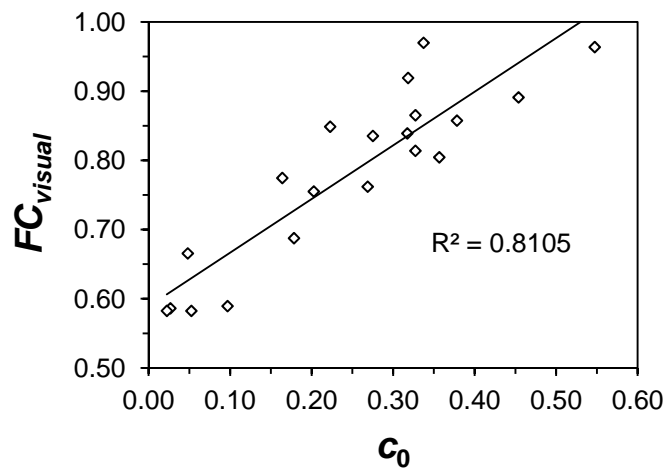
## **4.5 RESULTATS I DISCUSSIÓ**

La solució òptima del sistema 4.2.5-8 contenint  $101 \cdot (m - 1)$  equacions (on  $m$  és el nombre total de làmines apilades) s'ha obtingut per mínims quadrats amb Matlab. Per exemple, per a la mostra de la fig. 4.4.2-2(b), on s'han utilitzat 8 capes de roba, el sistema té un total de 808 equacions.

La relació dels valors dels coeficients alfa ( $c_0 = \alpha$ ) i gamma ( $c_{n+1} = \gamma$ ) obtinguts amb els corresponents factors de cobertura de les mostres s'analitza tot seguit. La gràfica de la fig. 4.5-1(a) mostra la correlació entre el coeficient  $c_{n+1}$  i el factor d'obertura visual,  $(1 - FC_{visual})$ . En ella hi figura el coeficient de determinació  $R^2 = 0.6027$ , que resulta ser massa baix com per considerar la informació aportada pel coeficient  $c_{n+1}$  prou rellevant com per ser tinguda en compte. En canvi, la gràfica de la correlació entre el coeficient  $c_0$  i el  $FC_{visual}$  (fig. 4.5-1(b)), malgrat estar afectada del coeficient  $A$ , que per a cada tipus de roba adopta un valor diferent, presenta una correlació millor que l'anterior, amb un  $R^2 = 0.8105$ .



(a)



(b)

**FIGURA 4.5-1.** (a) Correlació entre el coeficient  $c_{n+1}$  i el factor d'obertura visual. (b) Correlació entre el coeficient  $c_0$  i el  $FC_{visual}$ .

Aquests resultats no concorden amb els esperats. La incertesa i variabilitat inherent al coeficient  $A$  hauria de donar lloc a un coeficient de determinació inferior en el cas (b) que en el cas (a). Això ens ha portat a analitzar l'estabilitat de les solucions del sistema enfront de pertorbacions dels resultats experimentals. D'alguna manera intentem valorar de quina forma la incertesa en les mesures de la reflectància afecta a la incertesa de les solucions (mínim quadràtiques) del sistema plantejat.

Per analitzar la seva estabilitat, hem pertorbat les dades experimentals introduint-hi un soroll gaussià de mitjana 0 i desviació estàndard proporcional a la magnitud mesurada, de l'ordre d'un 5% i a continuació hem resolt el sistema per a les 101 incògnites. Després de 100 iteracions hem obtingut 100 conjunts de 101 solucions diferents. Hem calculat la mitjana dels 100 valors  $c_0$  i  $c_{n+1}$  i la seva desviació estàndard. La variabilitat d'aquest

últim és, en termes generals, unes 3 vegades més gran que l'assolida pel coeficient  $c_0 = A \cdot FC$ .

La gran variabilitat que presenta el coeficient  $c_{n+1}$  comparada amb la del coeficient  $c_0$ , podria explicar la diferència existent entre els dos coeficients de determinació esmentats. De tota manera, la fig. 4.5-1(b) prova que la informació sobre el  $FC$  es troba inclosa en les mesures de reflectància i que el model explicat està ben dissenyat, malgrat no tenir el coneixement de les constants  $A$  i estar utilitzant robes de classes diferents.

Creiem que encara hi ha aspectes del model que probablement es puguin millorar. Una anàlisi futura, amb més profunditat i distància, potser permeti la consecució d'una teoria que expliqui com afecta el  $FC$  als valors de reflectància d'una pila creixent de làmines de teixit de manera completa.

## 5. CONCLUSIONS

---

1. En aquesta tesi s'han utilitzat tècniques de processament de la imatge digital i espectroscòpiques per tal de mesurar del factor de cobertura en teixits de calada. Ambdues tècniques s'han utilitzat de forma complementària.
2. S'ha desenvolupat un nou mètode de mesura del factor de cobertura total d'un teixit, així com dels parcials, objectiu i automàtic, basat en el processament digital de la imatge. S'han desenvolupat dos algorismes de mesura, un per a la determinació del factor de cobertura total i l'altre per a la determinació dels factors de cobertura parcials. Ambdós algorismes han estat aplicats a imatges captades amb un microscopi amb un augment 2x i amb un camp aproximat de 3 x 3 mm. L'aplicació dels algorismes esmentats només requereix la imatge digital de la mostra a avaluar. Ambdós algorismes de mesura són robusts en front a canvis d'il·luminació de la imatge i al seu biaix.
3. Prèviament a l'aplicació dels algorismes de processament digital ha calgut fer un tractament previ de la imatge a l'espai de Fourier quant a l'anivellament de la il·luminació i delimitació adequada del camp imatge. L'anivellament de la il·luminació s'ha aconseguit mitjançant un filtratge al voltant del *dc term* de la transformada de Fourier. La limitació correcta del camp s'ha assolit mitjançant la cerca automàtica de les freqüències fonamentals, tant en la direcció de trama com d'ordit.
4. S'ha mesurat el factor de cobertura total de forma subjectiva a un conjunt de 81 mostres de teixit de plana parametritzades quant a gruixos del fils, freqüències de fils i tipus de fils. El mètode de mesura emprat ha estat la segmentació manual, per part dels observadors, dels forats respecte dels fils en una imatge mostrada en una pantalla d'ordinador. En el procediment de mesura hi han participat un conjunt de 18 observadors.

5. La tècnica de processament de la imatge emprada per mesurar el factor de cobertura total ha estat la segmentació dels forats del teixit respecte dels fils. S'han aplicat quatre mètodes estàndard de segmentació automàtica: K-means, barreja de gaussianes, Otsu i Kittler-Illingworth. Tots aquests mètodes mostren resultats molt semblants i concordants amb els obtinguts pels observadors visuals quan s'apliquen a teixits amb un baix nivell de cobertura. En canvi, quan la mostra presenta un alt valor de cobertura cap dels resultats obtinguts pels mètodes esmentats coincideix amb l'obtingut pels observadors visuals. Això justifica l'elaboració d'un nou mètode de segmentació per aquests tipus de cobertures.
6. S'ha dissenyat un nou algorisme, basat en la tècnica de mínims quadrats (MSSQ), per mesurar el factor de cobertura total d'un teixit, independent del seu grau de cobertura. Es tracta d'una variació de l'algorisme d'Otsu per llindaritzar l'histograma d'una imatge on, a més, s'ha tingut en compte l'efecte no lineal entre el nivell de gris del píxel i la luminància emesa quan s'observa en una pantalla.
7. S'ha correlacionat la percepció de l'estímul físic que representa l'observació, per part dels observadors visuals, dels forats segmentats d'un teixit en una pantalla en front de la mesura objectiva de la superfície que omplen aquests forats en el teixit, fent servir la mateixa imatge en tots dos casos. Aquesta última dada s'ha obtingut per a cadascuna de les diferents tècniques de segmentació. Les dades que millor s'ajusten a la llei de Stevens són les obtingudes a partir de l'algorisme MSSQ. Aquest resultat aporta evidències a favor de l'exactitud del mètode proposat.
8. S'ha aplicat l'anàlisi de la variància (ANOVA) per relacionar el valor mitjà del factor de cobertura total amb els paràmetres que caracteritzen el teixit com ara: el gruix del fil, la freqüència del fil i el tipus de fibra. En el cas de les 81 mostres parametritzades, el valor del factor de cobertura ha estat consistent amb els paràmetres que caracteritzen el fil de la manera següent: el valor mitjà del factor de cobertura total creix amb el gruix del fil de trama i amb el gruix del fil d'ordit i, a més, depèn del tipus de fibra de cada fil.
9. S'ha realitzat la mesura dels factors de cobertura parcials en les direccions de trama i ordit, mitjançant un filtratge a l'espai de Fourier dels fils d'ordit i de trama de la mostra. Els filtres aplicats han estat binaris i direccionals. La direcció dels filtres s'ha determinat a partir de l'aplicació de la transformada de Radon a l'espectre de potències de la imatge. El disseny d'aquests filtres direccionals fa invariant la mesura dels factors de cobertura parcials al biaix del teixit.



10. S'ha aplicat l'anàlisi de la variància (ANOVA) per relacionar els valors mitjans dels factors de cobertura en les direccions de trama i ordit amb els paràmetres que caracteritzen el teixit. En el cas de les 81 mostres parametritzades els valors dels factors de cobertura parcials han estat consistents amb els paràmetres que caracteritzen el fil de la manera següent: els valors mitjans dels factors de cobertura, tant en la direcció de trama com en la d'ordit, creixen amb els gruixos dels fils en les seves direccions respectives. El valor del factor de cobertura en la direcció de trama creix amb la freqüència dels fils en aquesta direcció. Per altra part, el valor del factor de cobertura en la direcció d'ordit es manté gairebé constant amb la freqüència dels fils en la direcció de trama. Els resultats obtinguts són lògics i esperables i confirmen la robustesa del mètode.
11. S'ha mesurat el valor promig dels diàmetres dels fils en les direccions de trama i d'ordit, a partir dels valors obtinguts en la mesura dels factors de cobertura parcials en aquestes direccions.
12. S'ha aplicat l'anàlisi de la variància (ANOVA) per relacionar els valors mitjans dels diàmetres dels fils en les direccions de trama i d'ordit i els seus respectius números de fil. S'ha obtingut una relació creixent, tal com calia esperar, entre els diàmetres mesurats i els números de fils en ambdues direccions.
13. S'ha mesurat manualment i damunt de la imatge del teixit en una pantalla els gruixos dels fils en la direccions de trama i d'ordit. S'han comparat aquestes mesures amb els valors obtinguts pel nostre mètode de mesura amb una concordança molt satisfactòria. Aquest resultat valida el mètode proposat.
14. Si bé totes les mostres analitzades presentaven un lligament de plana, el mètode de mesura descrit pot aplicar-se a qualsevol tipus de lligament del teixit.
15. El mètode proposat de mesura del factor de cobertura, descrit anteriorment, pot implementar-se fàcilment en qualsevol laboratori d'anàlisi tèxtil. Les eines que calen són un microscopi de pocs augments amb una càmera acoblada per capturar la imatge i un ordinador per realitzar els càlculs.
16. S'ha modelitzat la reflectància d'una làmina de teixit llis disposada sobre un suport de reflectància coneguda mitjançant la teoria de Kubelka-Munk. Amb aquesta finalitat s'ha admès que el comportament òptic d'una làmina de teixit es pot aconseguir amb la superposició de dos elements ideals: un filtre de grisos de gruix nul que presenta diferents valors de la seva transmitància segons la direcció del feix de llum, ja sigui d'entrada o de sortida i segons per on passi el feix, ja sigui per la part coberta pels fils o per la part dels forats, i

una làmina uniforme i homogènia d'un material que compleixi les hipòtesis de la teoria de Kubelka-Munk. El model final conté com a paràmetre el factor de cobertura del teixit.

17. S'ha aplicat el model anterior a un conjunt de  $m$  capes de teixit on la reflectància de la capa  $j$ -èsima és una funció recurrent que depèn de la reflectància d'un gruix de  $(j - 1)$  capes (que fan la funció de suport) i de la reflectància de la capa  $j$ .
18. Per a una sèrie de teixits diferents, s'ha mesurat experimentalment amb un espectroradiòmetre la reflectància de les seves capes successives fins a arribar a estabilitzar aquesta mesura. Els valors experimentals de la reflectància s'han introduït en el model generalitzat amb l'objectiu de calcular els valors dels paràmetres que hi intervenen, particularment el  $FC$ .
19. S'ha resolt el sistema d'equacions que resulta aplicant el mètode de mínims quadrats a un conjunt de  $101 \cdot (m - 1)$  equacions, on  $m$  és el nombre total de làmines de teixit apilades, amb 103 incògnites. Això ha permès obtenir un parell d'estimacions del factor de cobertura.
20. S'han establert correlacions entre el factor de cobertura mesurat visualment i el factor de cobertura que s'obté com a solució d'aquestes equacions i s'ha analitzat l'efecte de les pertorbacions en la mesura de la reflectància per explicar les discrepàncies entre aquestes dues estimacions. S'aprecien problemes de precisió en una de les estimacions i d'inexactitud en l'altra, a causa del desconeixement d'algun paràmetre del model.

## 6. REFERÈNCIES

- [AATC 1963] American Association of Textile Chemists and Colorists. *AATCC Technical Manual*, 1963- . ISSN 0734-8894
- [Abdu 2005] Abdul-Rahman, A.; Chen, M. Spectral volume rendering based on the Kubelka-Munk theory. *Computer Graphics Forum*, 2005, vol. 24, núm. 3, p. 413-422.
- [Abou 2003] Abou-Iiana M.; Youssef S.; Pastore C.; Gowayed Y. Assessing structural changes in knits during processing. *Textile Research Journal*, 2003, vol. 73, núm. 6, p. 535-540.
- [Abra 2006] Abramowitz M.; Davidson M. W. *Concepts in Digital Imaging Technology. CCD Blooming*. Olympus Microscopy Resource Center. [Consulta: 1 novembre 2011]. Disponible a: <<http://www.olympusmicro.com/primer/digitalimaging/concepts/blooming.html>>.
- [Alfa 1997] Alfaro Giner C. *El Tejido en Época Romana*. Madrid: Ibérica Grafic, 1997. ISBN: 84-7635-254-9.
- [Alga 2004] Algaba I; Riva A; Crews P. C. Influencia del tipo de fibra y la porosidad de los tejidos en el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por tejidos de verano. *Boletín Intexter (U.P.C.)*, 2004, núm. 126, p. 7-16.
- [Andr 2005] Andrés J. M.; Bona M. T. Analysis of coal by diffuse reflectance near-infrared spectroscopy. *Analytica Chimica Acta*, 2005, vol. 535, núm. 1-2, p. 123-132.
- [Arin 2005] Arino I.; Kleist U.; Righdahl M. Effect of gloss and texture on the color of injection-molded pigmented plastics. *Polymer Engineering and Science*, 2005, vol. 45, núm. 5, p. 733-744.
- [Arne 2003] Arney J. S.; Chauvin J.; Nauman J.; Anderson P. G. Kubelka-Munk theory and the MTF of paper. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2003, vol47, núm. 4, p. 339-345.
- [Ashr 2005] *2005 ASHRAE Handbook. Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., 2005.

- [Behe 2004] Behera B. K. Image processing in textiles. *Progress in Textile*, 2004, vol. 35, núm. 2/3/4, p. 107-137.
- [Bern 2007] Berns R. S.; Mohammadi M. Single-constant simplification of Kubelka-Munk turbid-media theory for paint systems. *Color Research and Application*, 2007, vol. 32, núm. 3, p. 201-207.
- [Besc 2005] Bescoby D. J. Detecting roman land boundaries in aerial photographs using Radon transforms. *Journal of Archaeological Science*, 2005, vol. 33, p. 735-743.
- [Card 2002] Cardamone J. M.; Damert W. C.; Phillips J. G.; Marmer W. N. Digital image analysis for fabric assessment. *Textile Research Journal*, 2002, vol. 72, núm. 10, p. 906-916.
- [Cast 1997] de Castellar M. D.; Manich A. M.; Carvalho J.; Barella A. Una aplicació del anàlisi de la imatge a la determinació del grau de cobertura de los tejidos de calada. *Boletín Intexter (U.P.C.)*, 1997, núm. 111, p. 43-53.
- [Chir 2006] Chirdon W. M.; O'Brien W. J., Robertson R. E. Diffuse reflectance of short-fiber-reinforced composites aligned by an electric field. *Dental Materials*, 2006, vol. 22, núm. 1, p. 57-62.
- [Conn 2010] Connolly, T. J. *The world's oldest shoes*. [Consulta: 5 octubre 2010]. Disponible a: <<http://pages.uoregon.edu/connolly/FRsandals.htm>>.
- [Cook 2002] Cooke B.; Christiansen C.; Hammarlund L. Viking woollen square-sails and fabric cover factor. *International Journal of Nautical Archaeology*, 2002, vol. 31, núm. 2, p. 202-210.
- [Coop 2006] Cooper, E.W.; Sakakura, Y.; Ohta, Y.; Furukawa, K.; Shinoda, H.; Hachimura, K. Evolutionary computation with habitats for finding Kubelka-Munk coefficients in metallic and pearlescent paints. *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2006, p. 5280-4.
- [Cord 2007] Cordon G. B.; Lagorio M. G. Absorption and scattering coefficients: A biophysical-chemistry experiment using reflectance-spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 2007, vol. 84, núm. 7, p. 1167-1170.
- [Dean 1983] Deans, S. R. *The Radon transform and some of its applications*. New York: Wiley, 1983. ISBN: 0894647180.
- [Doi 2003] Doi M.; Tominaga S. Spectral estimation of human skin color using the Kubelka-Munk theory. *Proceedings of the SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 2003, vol. 5008, p. 221-228.
- [Doug 1992] Dougherty E. R. *An Introduction to Morphological Image Processing*. Bellingham: SPIE, 1992. ISBN 0-8194-0845-X.

- [Dupu 2005] Dupuis G.; Menu M. Quantitative characterisation of pigment particles in organic layers by fibre-optics diffuse-reflectance spectroscopy. *Applied Physics A-Materials Science & Processing*, 2005, vol. 80, núm. 4, p. 667-673.
- [Dupu, 2006] Dupuis G.; Menu M. Quantitative characterisation of pigment mixtures used in art by fibre-optics diffuse-reflectance spectroscopy. *Applied physics A-Materials Science & Processing*, 2006, vol. 83, núm. 4, p. 469-474.
- [Esco 1999] Escofet J. Caracterització, reconeixement de patrons i detecció de defectes en textures periòdiques mitjançant anàlisi d'imatges. Tesi doctoral, UPC. Departament d'Òptica i Optometria, 1999. Disponible a: <<http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0803104-133405/index.html>>.
- [Esco 2001] Escofet J.; Millán M. S.; Ralló M. Modeling of woven fabric structures based on Fourier image analysis. *Applied Optics*, 2001, vol. 40, núm. 34, p. 6170-6176.
- [Ette 1986] Eters JN, Hurwitz MD: Opaque reflectance of translucent fabric. *Textile Chemist and Colorist*, 1986, vol. 18, p. 19-26.
- [Gabr 2009] Gabrijelčič H.; Urbas R.; Sluga F.; Dimitrovski K. Influence of fabric constructional parameters and thread colour on uv radiation protection. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2009, vol. 17, núm. 1 (72), p. 46-54.
- [Galc 1961] Galcerán V. *Tecnología del Tejido. Tomo segundo: Análisis de Tejidos y Técnica de Fabricación*, 2a ed., Terrassa, 1961.
- [Glas 1993] Glasbey C. A. Analysis of histogram-based thresholding algorithms. *Graphical Models and Image Processing*, 1993, vol. 55, núm. 6, p. 532-537.
- [Gonz 1993] Gonzalez R. C.; Woods R. E. *Digital Image Processing*. Reading (MA): Adisson-Wesley, 1993. ISBN 0-201-60078-1.
- [Hébe 2007] Hébert M.; Hersch R. D.; Becker J. M. Compositional reflectance and transmittance model for multilayer specimens. *Journal of the Optical Society of America A*, 2007, vol. 24, núm. 9. P. 2628-2644.
- [Hols 1998] Holst G. C. *CCD Arrays, Cameras and Displays*. SPIE Optical Engineering Press. Bellingham (WA), 1998. ISBN 0-9640000-4-0.
- [Horr 2000] Horrocks A. R.; Anand S. C. *Handbook of Technical Textiles*, Cambridge: Woodhead, 2000. ISBN 1-85573-385-4.
- [Hump 2005] Humphreys F. J.; Bate P. S. Measuring the alignment of low-angle boundaries formed during deformation. *Acta Materialia*, 2006, vol. 54, p. 817-829.

- [Jewe 2005] Jewel R. *Textile Testing*, APH Publishing. Delhi, 2005. ISBN 81-7648-748-1.
- [Joan 2006] Joaneli M. I.; Ostetman D. P.; Golob D. Textile surface structure and Kubelka-Munk theory use in color match calculations. *Colourage*, 2006, vol. 53, núm. 53 (4 suppl.), p. 59-67.
- [Judd 1975] Judd D. B. *Color in business, science, and industry / Deane B. Judd and Gunter Wyszecki*, New York: Wiley, 1975. ISBN 0471452122.
- [Kang 2001] Kang T. J.; Choi S. H.; Kim S. M.; Oh K. W. Automatic structure analysis and objective evaluation of woven fabric using image analysis. *Textile Research Journal*, 2001, vol. 71, núm. 3, p. 261-270.
- [Keye 1967] Keyes M. W. Analysis and rating of drapery materials used for indoor shading. *ASHRAE Transactions*, 1967, vol. 73, núm. 1, p. VIII.4.1-VIII.4.15.
- [Kore 2001] Koren N. *Monitor Calibration and Gamma*. [Consulta: 6 octubre 2010]. Disponible a: <http://www.normankoren.com/makingfineprints1A.html>.
- [Kort 1969] Kortüm G. *Reflectance Spectroscopy. Principles, methods, applications*. New York: Springer-Verlag, 1969.
- [Kube 1931] Kubelka P.; Munk F. Ein beitrag zur optik der farbanstriche. *Zeitschrift für Technische Physik*, 1931, vol. 12, p. 593-601.
- [Lach 2003] Lachkar A.; Gadi T.; Benslimane R.; D'Orazio L.; Martuscelli E. Textile woven fabric recognition using Fourier image analysis techniques: Part I: A fully automatic approach for crossed-points detection. *Journal of the Textile Institute*, 2003, vol. 94 part 1, núm. 3-4, p. 194-201.
- [Lach 2005] Lachkar A.; Benslimane R.; D'Orazio L.; Martuscelli E. Textile woven fabric recognition using Fourier image analysis techniques: Part II - Texture analysis for crossed-states detection. *Journal of the Textile Institute*, 2005, vol. 96, núm. 3, p. 179-183.
- [Lana 2006] Lanaq M. M.; Hogenkamp M.; Koehorst R. B. M. Application of Kubelka-Munk analysis to the study of translucency in fresh-cut tomato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2006, vol. 7, núm. 4, p. 302-308.
- [Levi 2005] Levinson R.; Berdahl P.; Akbari H. Solar spectral optical properties of pigments – Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2005, vol. 89, núm. 4, p. 319-349.

- [Li 2003] Li Y. Characterization of inks and ink application for ink-jet printing: model and simulation. *Journal of the Optical Society of America A (Optics, Image Science and Vision)*, 2003, vol. 20, núm. 7, p. 1149-1154.
- [Luci 2004] De Lucia M.; Buonopane M. Color prediction in textile application. *Optical Metrology in Production Engineering Book Series: Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, 2004, vol. 5457, p. 678-688.
- [Maño 2006] Mañosa F. *Tecnologia i disseny de teixits: fonaments*. Barcelona: Edicions UPC, 2006. ISBN 9788483018903.
- [Mark 1993] Marks R. (ed). *An Introduction to Textiles. Volume III – Fabrics*, Bolton (UK). School of Textile Studies, Bolton Institute, 1993. p. 32-40.
- [McIn 1995] McIntyre J. E. [et al.] (ed). *Textile Terms and Definitions*. 10a ed. Manchester: The Textile Institute, 1995. ISBN 1-870812-77-8.
- [Mesh 2004] Meshcheryakova G. P.; Tarakanov B. M. Diffraction method of measuring the structural characteristics of fabrics made of chemical fibres. *Fibre Chemistry*, 2004, vol. 36, núm. 3, p. 227-231.
- [Miko 2001] Mikolajczyk Z. Analysis of warp knitted fabrics' relative cover with the use of computer technique of image processing. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2001, vol. 9, núm. 3, p. 26-29.
- [Mila 2000] Milasius V. An integrated structure factor for woven fabrics. Part I: Estimation of the weave. *Journal of the Textile Institute*, 2000, vol. 91, part I, núm. 2, p. 268-276.
- [Mila 2003] Milasius V.; Milasius R.; Kumpikaite E.; Olsauskiene A. Influence of fabric structure on some end-use properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2003, vol. 11, núm. 2(41), p. 48-51.
- [MiTe 2010] Ministry of Textiles (India). *Technical Textiles*. [Consulta: 11 febrer 2010]. Disponible a: <<http://www.technotex.gov.in/>>.
- [Olsa 2003] Olsauskiene, A; Milasius, R. Dependence of Air Permeability on Various Integrated Fabric Firmness Factors, *Materials Science*, 2003, vol. 9, núm. 4, p. 401-404.
- [Orel 2005] Orel Z. C.; Gunde M. K.; Hutchins M. G. Spectrally selective solar absorbers in different non-black colors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2005, vol. 85, núm. 1, p. 41-50.
- [Park 2005] Park S. J.; Song S. Y.; Shin J. S.; Rhee J. M. Effect of surface oxifluorination on the dyeability of polyethylene film. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, vol. 283, núm. 1, p. 190-195.

- [Peir 1937] Peirce F. T. The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute*, 1937; vol. 28, núm. 3 Transactions section.
- [Rall 2003] Ralló M.; Escofet J.; Millán M. S. Weave-repeat identification by structural analysis of fabric images. *Applied Optics*, 2003. vol. 42, núm. 17, p. 3361-3372.
- [Ray 2000] Ray S. F. Camera exposure determination. A: Jacobson R. E.; Ray S. F.; Attridge G. G.; Axford N. R. *The Manual of Photography. Photographic and Digital Imaging*. 9a ed. Oxford: Focal Press, 2000, p. 310-318. ISBN 0-240-51574-9.
- [Roch 2003] Rochdi N. Un modèle générique d'agrégation des feuilles dans un couvert végétal: application a la simulation du transfert radiatif. Institut National Agronomique de Paris Grignon, 2003. Tesi doctoral.
- [Russ 1995] Russ J. C. *The Image Processing Handbook*. 2a ed. Boca Raton (Florida): CRC Press, 1995. ISBN 0-8493-2516-1.
- [Sham 2008] Shams Nateri A.; Ekrami E. Application of zero-crossing technique in derivatives of the Kubelka–Munk function to the quantitative analysis of bicomponent mixtures of dyes, *Textile Research Journal*, 2008, vol. 78, núm, 12, p. 1139-1147.
- [Saho 1988] Sahoo P. K.; Soltani S.; Wong A. K. C. A survey of thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1988, vol. 41, p. 233-260.
- [Stea 1972] Stearns E. I.; Prescott W. B. Measurement of translucent cloth samples, *Textile Chemist and Colorist*, 1972, vol. 4, p. 165-166.
- [Seya 1993] Seyam A.; El-Shiekh A. Mechanics of woven fabrics. Part III: Critical Review of Weavability Limit Studies, *Textile Research Journal*, 1993, vol. 63, núm. 7, p. 371–378.
- [Seya 1994] Seyam A.; El-Shiekh A. Mechanics of woven fabrics. Part IV: Critical Review of Fabric Degree of Tightness and Its Applications, *Textile Research Journal*, 1994, vol. 64, núm. 11, p. 653–662.
- [Sezg 2004] Sezgin M.; Sankur B., Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation, *Journal of Electronic Imaging*, 2004, vol. 13, núm. 1, p. 146–168.
- [Stev 1986] Stevens S. S. *Psychophysics: Introduction to its Perceptual, Neural, and Social Prospects*. Transaction Publishers, New Brunswick (NJ), 1986). ISBN 0-88738-643-1.



- [Stuk 2008] Stuke, A.; Carius, R.; Marques, J.L.; Mauer, G.; Schulte, M.; Sebold, D.; Vassen, R.; Stover, D. Optimizing of the reflectivity of air plasma sprayed ceramic thermal barrier coatings. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, vol. 28, núm. 3, *Advanced Ceramic Coatings and Interfaces II. 31st International Conference on Advanced Ceramics and Composites*, 2008, p. 99-113. ISSN: 0196-6219.
- [Vill 2005] Villalobos R.; Chanona J.; Hernandez P.; Gutierrez G.; Chiralt A. Gloss and transparency of hydroxypropylmethylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food Hydrocolloids*, 2005, vol. 19, núm. 1, p. 53-61.
- [Wend 1966] Wendland W. W. M; Hecht H. G. *Reflectance Spectroscopy*. New York: Wiley & Sons, 1966.
- [Wolf 2008] Wolf A.; Terheiden B.; Brendel R. Light scattering and diffuse light propagation in sintered porous silicon. *Journal of Applied Physics*, 2008, vol. 104, núm. 3, p. 033106.
- [Wei 2004] Wei H. J.; Xing D.; Wu G. Y.; Jin Y.; Gu H. M. Comparative research on attenuation characteristics of human bladder cancer tissue at different wavelenghts of laser and their linearly polarized laser in vitro. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2004, vol. 24, núm. 11, p. 1296-1298.
- [Wolf 1998] Wolfe W. L. *Introduction to Radiometry*. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1998. ISBN 0-8194-2758-6.
- [Xu 1996] Xu B. Identifying fabric structures with Fast Fourier Transform techniques. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, núm. 8, p. 496-506.
- [Xu 2005] Xu G.; Wang F. Prediction of the permeability of woven fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 2005, vol. 34, núm. 4, p. 243-254.
- [Yang 2008] Yang L.; Hersch R. D. Kubelka-Munk model for imperfectly diffuse light distribution in paper. *Journal of Imaging Science and Technology*, 2008, vol. 52, núm. 3, p. 0302011-0302017.

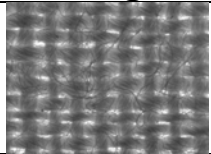
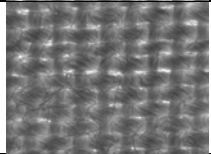
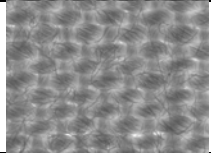
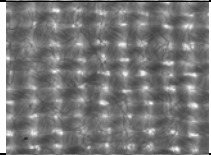
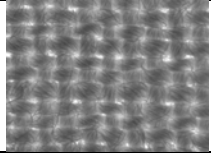
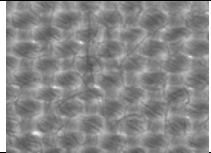
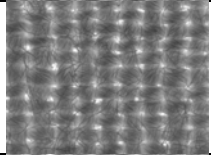
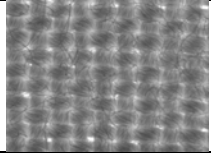
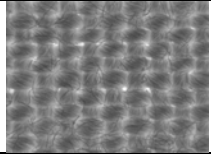


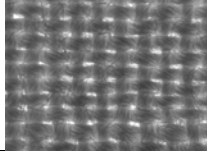
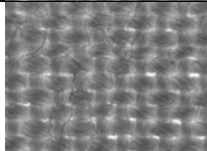
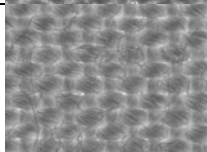
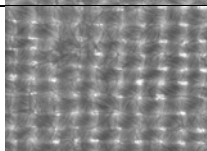
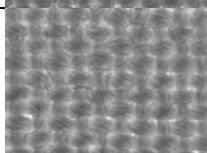
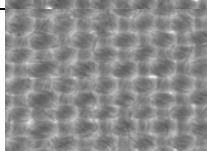
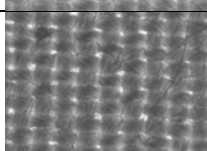
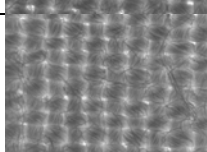
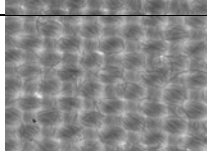
## **7. ANNEXOS**

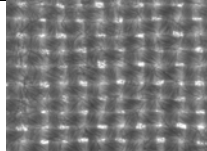
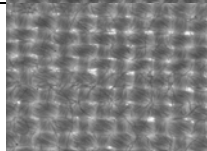
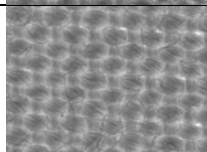
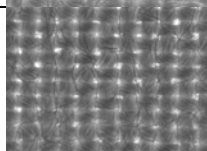
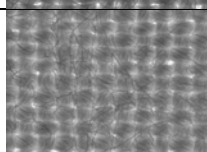
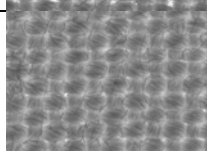
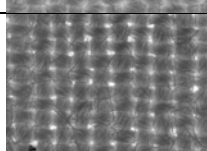
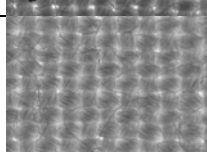
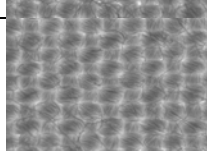
---



## 7.1 ANNEX I: ESPECIFICACIONS DE FABRICACIÓ, IMATGES I RESULTATS OBTINGUTS DE LES MOSTRES DELS CAPÍTOLS 2 I 3

COTÓ		Número fil (Tex)		Freqüència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
CU01_01		14	14	38	23
CU02_01		20	14	38	23
CU03_01		25	14	38	23
CU04_01		14	20	38	23
CU05_01		20	20	38	23
CU06_01		25	20	38	23
CU07_01		14	25	38	23
CU08_01		20	25	38	23
CU09_01		25	25	38	23

<b>COTÓ</b>		<b>Número fil (Tex)</b>		<b>Freqüència fils (fils/cm)</b>	
<b>Mostra</b>	<b>Imatge</b>	<b>Ordit</b>	<b>Trama</b>	<b>Ordit</b>	<b>Trama</b>
<b>CU10_01</b>		14	14	38	25
<b>CU11_01</b>		20	14	38	25
<b>CU12_01</b>		25	14	38	25
<b>CU13_01</b>		14	20	38	25
<b>CU14_01</b>		20	20	38	25
<b>CU15_01</b>		25	20	38	25
<b>CU16_01</b>		14	25	38	25
<b>CU17_01</b>		20	25	38	25
<b>CU18_01</b>		25	25	38	25

COTÓ		Número fil (Tex)		Freqüència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
CU19_01		14	14	38	27
CU20_01		20	14	38	27
CU21_01		25	14	38	27
CU22_01		14	20	38	27
CU23_01		20	20	38	27
CU24_01		25	20	38	27
CU25_01		14	25	38	27
CU26_01		14	14	38	27
CU27_01		20	14	38	27

<b>imatge</b>	<b><math>p_1</math> (mm)</b>	<b><math>p_2</math> (mm)</b>	<b><math>d_1</math> (mm)</b>	<b><math>d_2</math> (mm)</b>	<b><math>FC_1</math></b>	<b><math>FC_2</math></b>	<b><math>FC_{MSSO}</math></b>	<b><math>FC_{visual}</math></b>
CU01_01	0,265	0,426	0,224	0,264	0,889	0,649	0,961	0,951
CU02_01	0,275	0,419	0,255	0,247	0,955	0,608	0,983	0,973
CU03_01	0,270	0,392	0,258	0,254	0,985	0,685	0,995	0,989
CU04_01	0,264	0,382	0,219	0,295	0,868	0,806	0,974	0,965
CU05_01	0,271	0,386	0,248	0,269	0,945	0,718	0,984	0,980
CU06_01	0,267	0,377	0,263	0,284	0,990	0,754	0,998	0,995
CU07_01	0,268	0,386	0,211	0,283	0,883	0,761	0,972	0,976
CU08_01	0,267	0,385	0,256	0,291	0,971	0,767	0,993	0,990
CU09_01	0,266	0,387	0,255	0,284	0,973	0,741	0,993	0,992
CU10_01	0,263	0,382	0,222	0,267	0,885	0,734	0,969	0,968
CU11_01	0,273	0,380	0,258	0,263	0,959	0,703	0,988	0,985
CU12_01	0,266	0,377	0,261	0,245	0,992	0,655	0,997	0,994
CU13_01	0,264	0,367	0,232	0,278	0,911	0,785	0,981	0,980
CU14_01	0,264	0,343	0,250	0,259	0,966	0,762	0,992	0,988
CU15_01	0,268	0,350	0,262	0,245	0,988	0,708	0,997	0,992
CU16_01	0,268	0,376	0,228	0,295	0,875	0,809	0,976	0,974
CU17_01	0,268	0,359	0,253	0,276	0,962	0,782	0,992	0,990
CU18_01	0,264	0,347	0,258	0,263	0,987	0,763	0,997	0,996
CU19_01	0,261	0,347	0,209	0,266	0,838	0,802	0,968	0,967
CU20_01	0,257	0,322	0,237	0,238	0,946	0,758	0,987	0,982
CU21_01	0,269	0,321	0,265	0,210	0,991	0,659	0,997	0,996
CU22_01	0,265	0,343	0,212	0,287	0,834	0,869	0,978	0,978
CU23_01	0,264	0,336	0,249	0,275	0,963	0,832	0,994	0,992
CU24_01	0,265	0,343	0,257	0,285	0,981	0,838	0,997	0,994
CU25_01	0,263	0,347	0,228	0,271	0,894	0,805	0,979	0,980
CU26_01	0,270	0,345	0,254	0,279	0,962	0,824	0,993	0,991
CU27_01	0,259	0,344	0,255	0,267	0,989	0,781	0,998	0,993

$p_1$ : període d'ordit

$p_2$ : període de trama

$d_1$ : amplada fils d'ordit

$d_2$ : amplada fils de trama

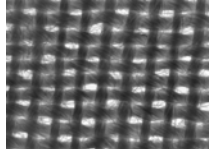
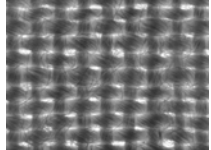
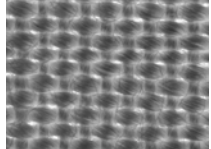
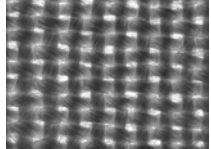
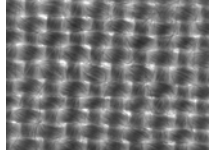
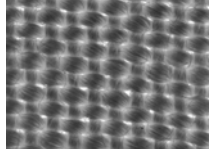
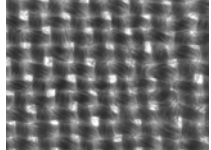
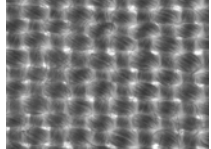
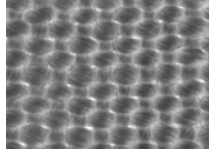
$FC_1$ : factor de cobertura d'ordit

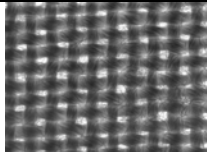
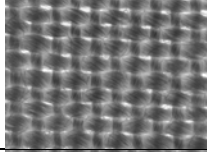
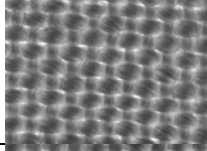
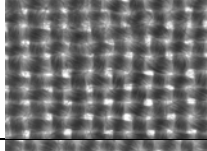
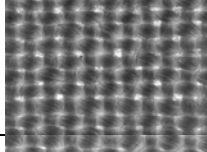
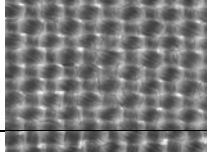
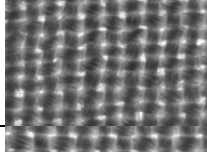
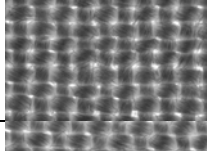
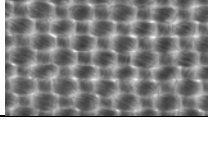
$FC_2$ : factor de cobertura de trama

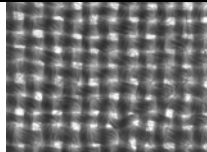
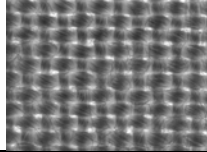
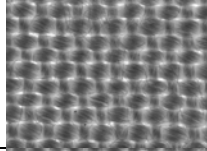
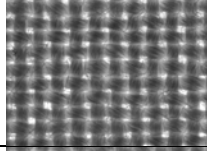
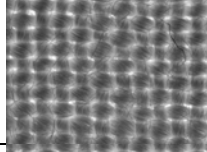
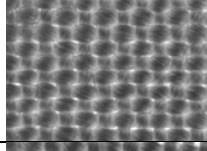
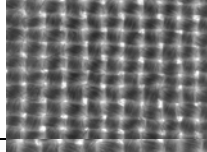
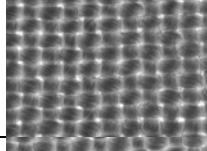
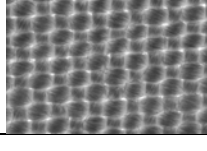
$FC_{MSSO}$ : factor de cobertura determinat segons algorisme proposat

$FC_{visual}$ : factor de cobertura determinat visualment



MODAL		Número fil (Tex)		Frequència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
MU01_01		14	14	38	23
MU02_01		20	14	38	23
MU03_01		25	14	38	23
MU04_01		14	20	38	23
MU05_01		20	20	38	23
MU06_01		25	20	38	23
MU07_01		14	25	38	23
MU08_01		20	25	38	23
MU09_01		25	25	38	23

MODAL		Número fil (Tex)		Freqüència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
MU10_01		14	14	38	25
MU11_01		20	14	38	25
MU12_01		25	14	38	25
MU13_01		14	20	38	25
MU14_01		20	20	38	25
MU15_01		25	20	38	25
MU16_01		14	25	38	25
MU17_01		20	25	38	25
MU18_01		25	25	38	25

MODAL		Número fil (Tex)		Frequència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
MU19_01		14	14	38	27
MU20_01		20	14	38	27
MU21_01		25	14	38	27
MU22_01		14	20	38	27
MU23_01		20	20	38	27
MU24_01		25	20	38	27
MU25_01		14	25	38	27
MU26_01		14	14	38	27
MU27_01		20	14	38	27

<b>imatge</b>	<b><math>p_1</math> (mm)</b>	<b><math>p_2</math> (mm)</b>	<b><math>d_1</math> (mm)</b>	<b><math>d_2</math> (mm)</b>	<b><math>FC_1</math></b>	<b><math>FC_2</math></b>	<b><math>FC_{MSSO}</math></b>	<b><math>FC_{visual}</math></b>
MU01_01	0,271	0,386	0,22	0,199	0,849	0,546	0,932	0,937
MU02_01	0,263	0,387	0,23	0,216	0,907	0,583	0,961	0,964
MU03_01	0,263	0,381	0,24	0,206	0,941	0,558	0,974	0,976
MU04_01	0,263	0,387	0,21	0,237	0,833	0,644	0,941	0,950
MU05_01	0,267	0,379	0,24	0,237	0,920	0,648	0,972	0,975
MU06_01	0,264	0,351	0,24	0,201	0,945	0,584	0,977	0,974
MU07_01	0,270	0,362	0,22	0,246	0,837	0,709	0,953	0,958
MU08_01	0,271	0,378	0,24	0,266	0,919	0,721	0,978	0,960
MU09_01	0,266	0,385	0,25	0,269	0,952	0,711	0,986	0,980
MU10_01	0,269	0,346	0,22	0,200	0,858	0,613	0,945	0,949
MU11_01	0,266	0,342	0,24	0,184	0,937	0,548	0,972	0,972
MU12_01	0,267	0,320	0,25	0,191	0,953	0,605	0,981	0,980
MU13_01	0,268	0,345	0,21	0,227	0,831	0,696	0,949	0,959
MU14_01	0,264	0,341	0,23	0,223	0,901	0,676	0,968	0,972
MU15_01	0,263	0,320	0,25	0,212	0,955	0,669	0,985	0,984
MU16_01	0,262	0,346	0,21	0,239	0,848	0,717	0,957	0,961
MU17_01	0,268	0,351	0,23	0,237	0,883	0,701	0,965	0,971
MU18_01	0,254	0,345	0,24	0,239	0,943	0,703	0,983	0,984
MU19_01	0,269	0,310	0,21	0,187	0,832	0,634	0,938	0,952
MU20_01	0,261	0,310	0,23	0,194	0,918	0,644	0,971	0,972
MU21_01	0,264	0,315	0,24	0,185	0,923	0,603	0,969	0,970
MU22_01	0,269	0,316	0,22	0,205	0,847	0,683	0,952	0,960
MU23_01	0,264	0,334	0,24	0,228	0,917	0,700	0,975	0,979
MU24_01	0,262	0,317	0,24	0,215	0,944	0,686	0,982	0,981
MU25_01	0,245	0,333	0,20	0,243	0,829	0,756	0,958	0,964
MU26_01	0,268	0,343	0,23	0,252	0,879	0,759	0,971	0,972
MU27_01	0,266	0,318	0,24	0,221	0,936	0,703	0,981	0,981

$p_1$ : període d'ordit

$p_2$ : període de trama

$d_1$ : amplada fils d'ordit

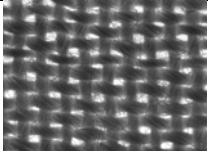
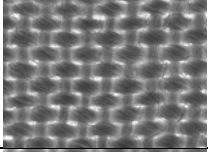
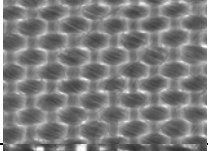
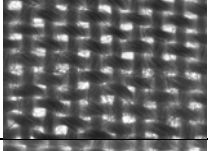
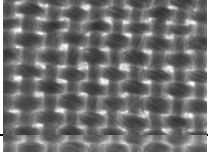
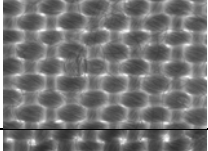
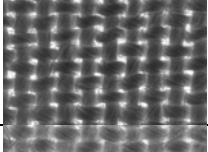
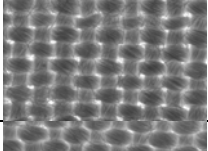
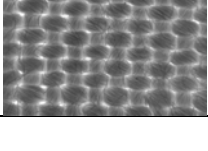
$d_2$ : amplada fils de trama

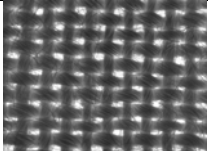
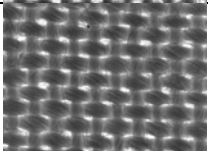
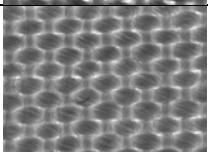
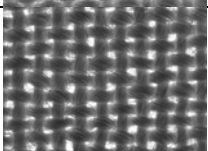
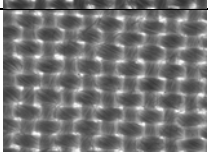
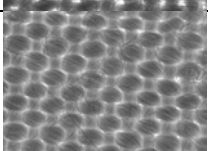
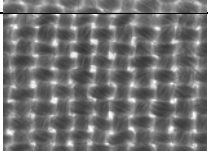
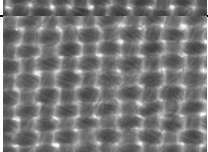
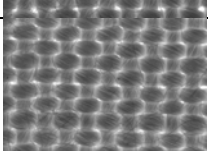
$FC_1$ : factor de cobertura d'ordit

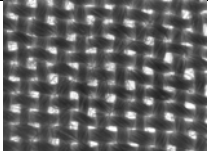
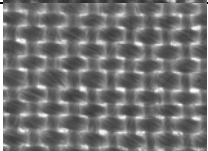
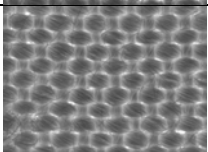
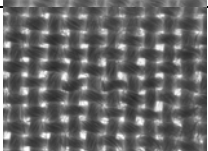
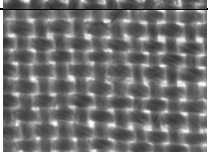
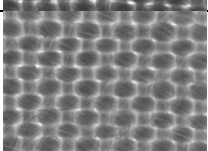
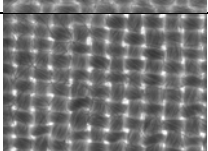
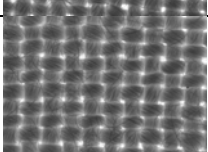
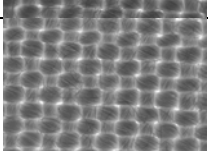
$FC_2$ : factor de cobertura de trama

$FC_{MSSO}$ : factor de cobertura determinat segons algorisme proposat

$FC_{visual}$ : factor de cobertura determinat visualment

MODALSUN		Número fil (Tex)		Freqüència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
MSU01_01		14	14	38	23
MSU02_01		20	14	38	23
MSU03_01		29	14	38	23
MSU04_01		14	20	38	23
MSU05_01		20	20	38	23
MSU06_01		29	20	38	23
MSU07_01		14	29	38	23
MSU08_01		20	29	38	23
MSU09_01		29	29	38	23

<b>MODALSUN</b>		<b>Número fil (Tex)</b>		<b>Freqüència fils (fils/cm)</b>	
<b>Mostra</b>	<b>Imatge</b>	<b>Ordit</b>	<b>Trama</b>	<b>Ordit</b>	<b>Trama</b>
<b>MSU10_01</b>		14	14	38	25
<b>MSU11_01</b>		20	14	38	25
<b>MSU12_01</b>		29	14	38	25
<b>MSU13_01</b>		14	20	38	25
<b>MSU14_01</b>		20	20	38	25
<b>MSU15_01</b>		29	20	38	25
<b>MSU16_01</b>		14	29	38	25
<b>MSU17_01</b>		20	29	38	25
<b>MSU18_01</b>		29	29	38	25

MODALSUN		Número fil (Tex)		Freqüència fils (fils/cm)	
Mostra	Imatge	Ordit	Trama	Ordit	Trama
MSU19_01		14	14	38	27
MSU20_01		20	14	38	27
MSU21_01		29	14	38	27
MSU22_01		14	20	38	27
MSU23_01		20	20	38	27
MSU24_01		29	20	38	27
MSU25_01		14	29	38	27
MSU26_01		20	29	38	27
MSU27_01		29	29	38	27

imatge	$p_1$ (mm)	$p_2$ (mm)	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$FC_1$	$FC_2$	$FC_{MSSQ}$	$FC_{visual}$
MSU01_01	0,256	0,362	0,21	0,21	0,837	0,586	0,933	0,912
MSU02_01	0,252	0,362	0,23	0,23	0,899	0,633	0,963	0,949
MSU03_01	0,256	0,342	0,25	0,18	0,965	0,540	0,984	0,979
MSU04_01	0,254	0,360	0,21	0,22	0,836	0,604	0,935	0,914
MSU05_01	0,258	0,368	0,23	0,24	0,908	0,650	0,968	0,959
MSU06_01	0,264	0,344	0,25	0,22	0,947	0,638	0,981	0,977
MSU07_01	0,259	0,362	0,22	0,23	0,852	0,638	0,947	0,926
MSU08_01	0,258	0,377	0,24	0,26	0,920	0,699	0,976	0,968
MSU09_01	0,261	0,379	0,24	0,29	0,916	0,764	0,980	0,975
MSU10_01	0,258	0,339	0,21	0,21	0,821	0,613	0,931	0,915
MSU11_01	0,256	0,342	0,22	0,22	0,874	0,638	0,954	0,945
MSU12_01	0,252	0,338	0,24	0,18	0,961	0,539	0,982	0,977
MSU13_01	0,255	0,327	0,21	0,20	0,816	0,617	0,929	0,910
MSU14_01	0,257	0,344	0,23	0,23	0,895	0,663	0,965	0,954
MSU15_01	0,236	0,317	0,22	0,24	0,951	0,747	0,988	0,985
MSU16_01	0,250	0,329	0,20	0,25	0,817	0,760	0,956	0,945
MSU17_01	0,255	0,328	0,23	0,24	0,900	0,731	0,973	0,962
MSU18_01	0,253	0,344	0,24	0,22	0,949	0,632	0,981	0,977
MSU19_01	0,248	0,315	0,21	0,18	0,826	0,585	0,928	0,903
MSU20_01	0,253	0,311	0,23	0,18	0,903	0,568	0,958	0,946
MSU21_01	0,252	0,309	0,24	0,22	0,943	0,707	0,983	0,978
MSU22_01	0,251	0,298	0,19	0,22	0,761	0,726	0,934	0,911
MSU23_01	0,252	0,304	0,21	0,21	0,852	0,674	0,952	0,939
MSU24_01	0,256	0,316	0,24	0,20	0,951	0,641	0,982	0,978
MSU25_01	0,232	0,306	0,18	0,25	0,780	0,818	0,960	0,951
MSU26_01	0,258	0,328	0,22	0,26	0,857	0,785	0,969	0,962
MSU27_01	0,266	0,334	0,25	0,24	0,945	0,723	0,985	0,982

$p_1$ : període d'ordit

$p_2$ : període de trama

$d_1$ : amplada fils d'ordit

$d_2$ : amplada fils de trama

$FC_1$ : factor de cobertura d'ordit

$FC_2$ : factor de cobertura de trama

$FC_{MSSQ}$ : factor de cobertura determinat segons algorisme proposat

$FC_{visual}$ : factor de cobertura determinat visualment



## 7.2 ANNEX II: PROCÉS PER ARRIBAR A L'EXPRESSIÓ (4.1.2-16)

Dividim (4.1.2-13) per  $I$  i (4.1.2-14) per  $J$ , les sumem membre a membre i hi substituïm (4.1.2-15):

$$\frac{dJ}{JSdx} - \frac{dI}{ISdx} = -2a + r + \frac{1}{r} \quad (\text{AII-1})$$

$$\frac{r}{Sdx} \left( \frac{dJ}{J} - \frac{dI}{I} \right) = r^2 - 2ar + 1. \quad (\text{AII-2})$$

Substituïnt (4.1.2-15) en (AII-2),

$$\frac{1}{ISdx} \left( \frac{IdJ - JdI}{I} \right) = r^2 - 2ar + 1, \quad (\text{AII-3})$$

i tenint present que el diferencial de (4.1.2-15) és

$$dr = \frac{IdJ - JdI}{I^2}, \quad (\text{AII-4})$$

arribem a l'expressió (4.1.2-16)

$$\frac{dr}{Sdx} = r^2 - 2ar + 1. \quad (\text{AII-4})$$

### 7.3 ANNEX III: RESOLUCIÓ DE LA INTEGRAL (4.1.2-17)

Basant-nos en la solució general de la següent integral



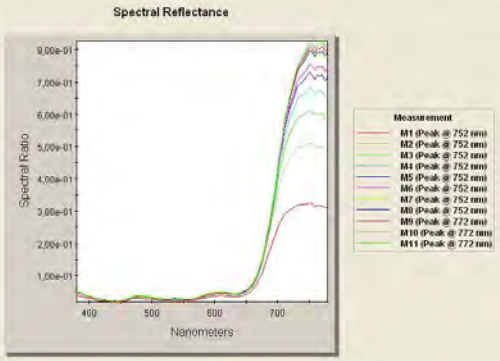


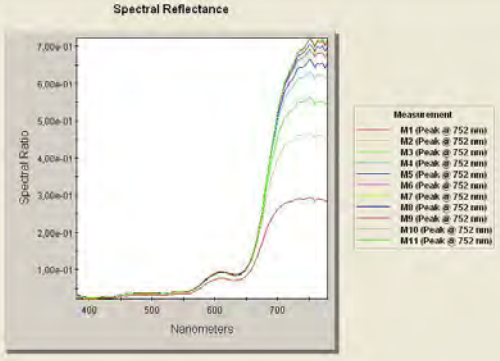
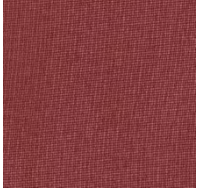

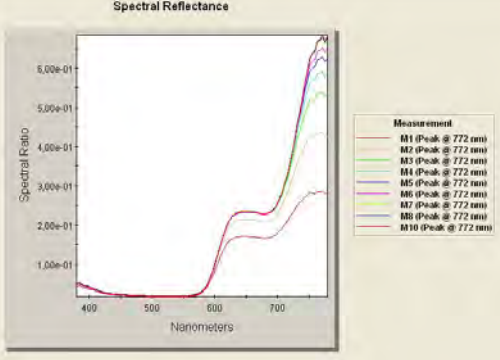


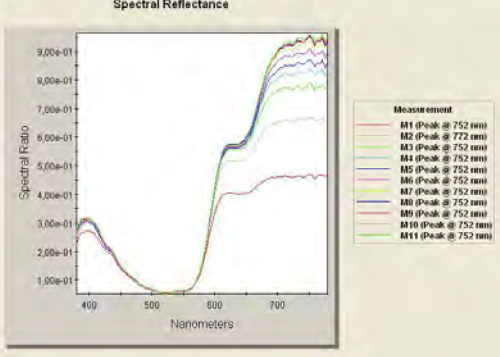
$$\int \frac{dr}{c_1 r^2 + c_2 r + c_3} = \frac{1}{\sqrt{c_2^2 - 4c_1 c_3}} \cdot \ln \left[ \frac{2c_1 r + c_2 - \sqrt{c_2^2 - 4c_1 c_3}}{2c_1 r + c_2 + \sqrt{c_2^2 - 4c_1 c_3}} \right], \quad (\text{AIII-1})$$


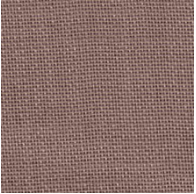
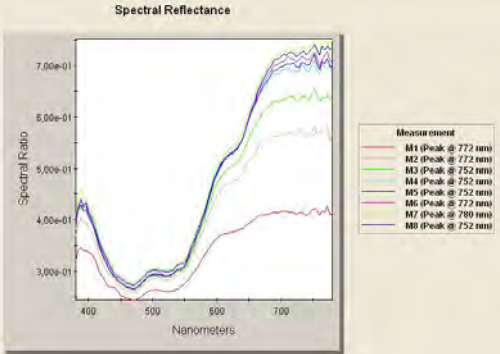


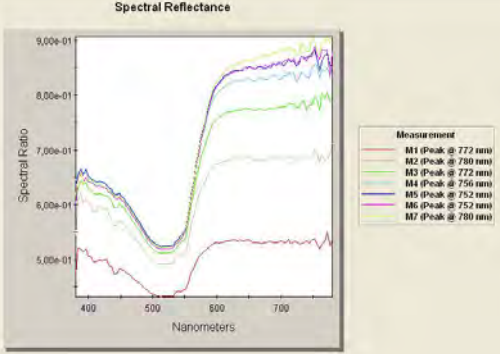
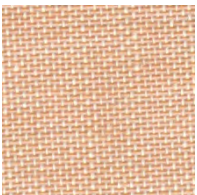

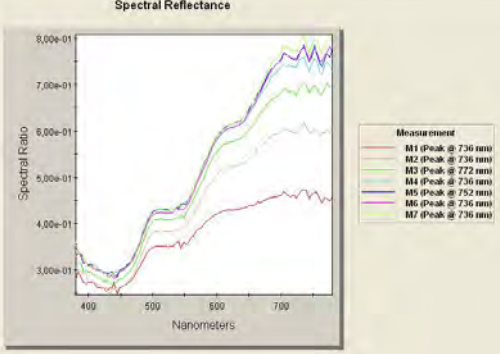


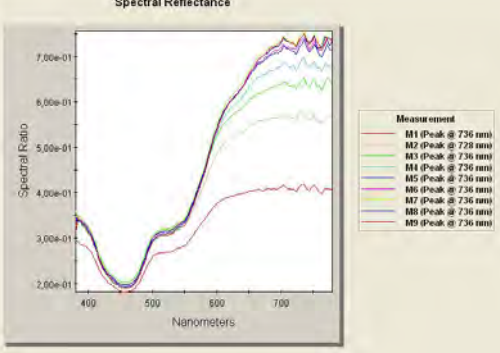
podem procedir a la solució de (4.1.2-17) on  $c_1 = 1$ ,  $c_2 = -2a$  i  $c_3 = 1$

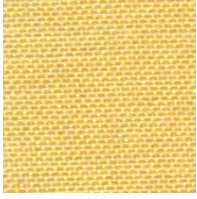

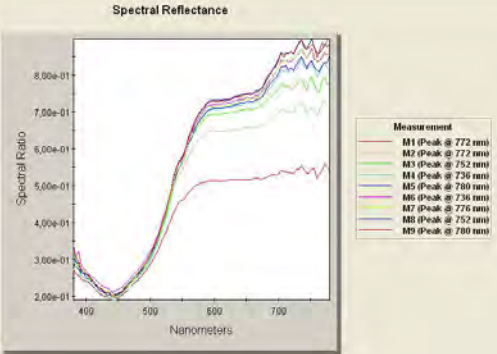


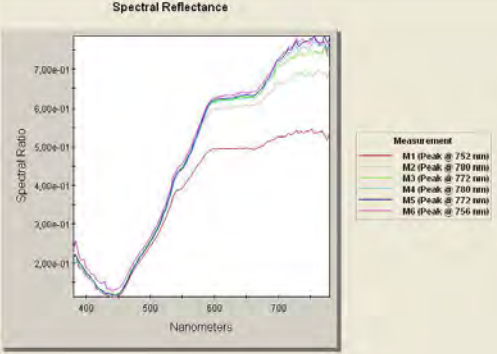


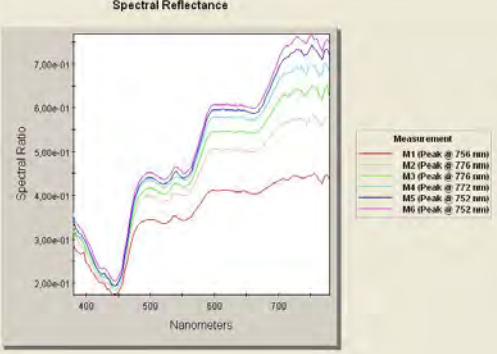


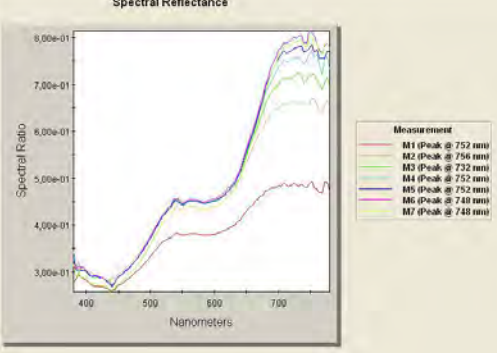
$$\begin{aligned} \int_{R_g}^R \frac{dr}{r^2 - 2ar + 1} &= \frac{1}{\sqrt{4a^2 - 4}} \cdot \ln \left[ \frac{2r - 2a - \sqrt{4a^2 - 4}}{2r - 2a + \sqrt{4a^2 - 4}} \right]_{R_g}^R = \frac{1}{2\sqrt{a^2 - 1}} \cdot \ln \left[ \frac{r - a - \sqrt{a^2 - 1}}{r - a + \sqrt{a^2 - 1}} \right]_{R_g}^R \\ &= \frac{1}{2\sqrt{a^2 - 1}} \cdot \left[ \ln \left( \frac{R - a - \sqrt{a^2 - 1}}{R - a + \sqrt{a^2 - 1}} \right) - \ln \left( \frac{R_g - a - \sqrt{a^2 - 1}}{R_g - a + \sqrt{a^2 - 1}} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{2\sqrt{a^2 - 1}} \cdot \ln \left( \frac{(R - a - \sqrt{a^2 - 1})(R_g - a + \sqrt{a^2 - 1})}{(R_g - a - \sqrt{a^2 - 1})(R - a + \sqrt{a^2 - 1})} \right), \quad (\text{AIII-2}) \end{aligned}$$



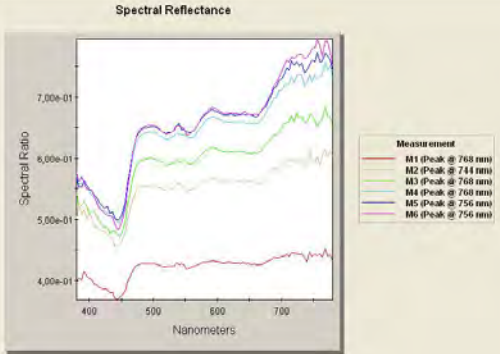


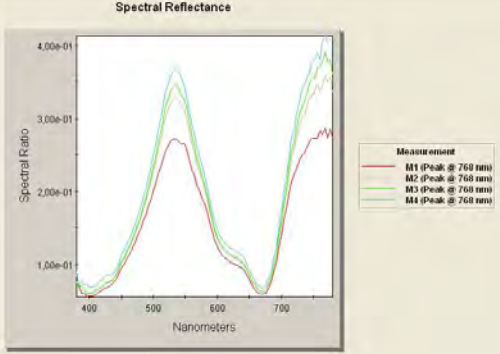


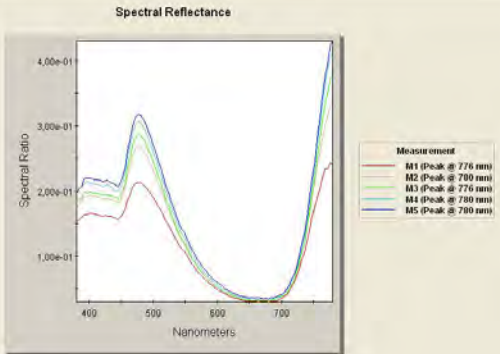

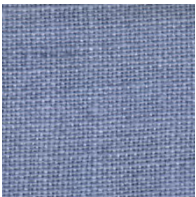
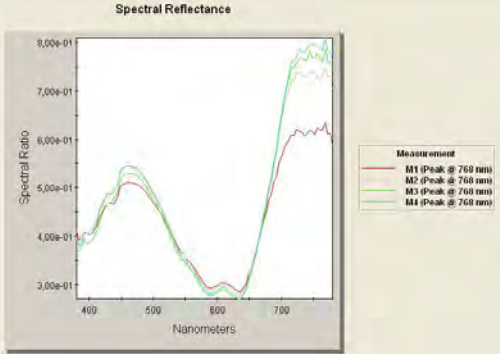
arribant a l'expressió (4.1.2-20).

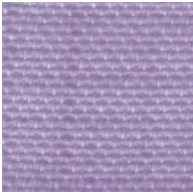
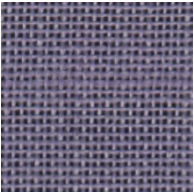
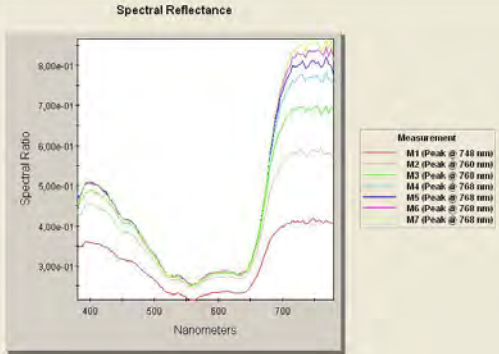


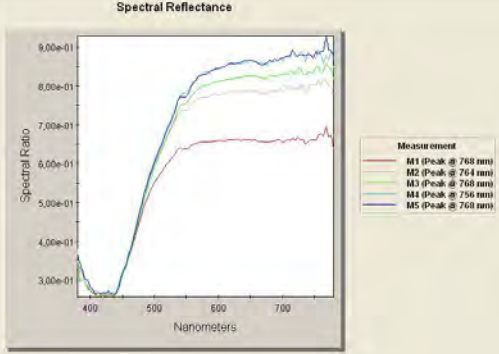

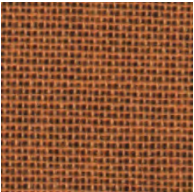
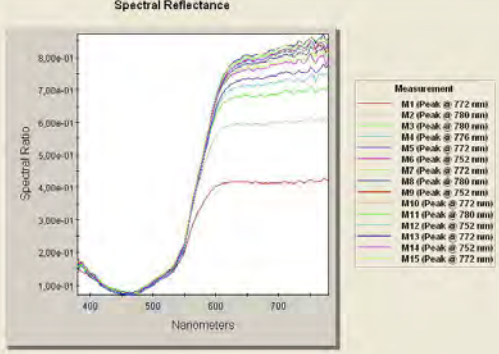


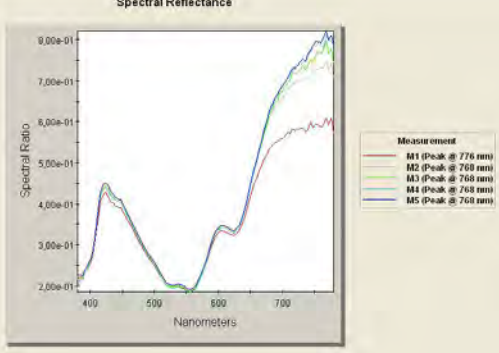
## 7.4 ANNEX IV: IMATGES I GRÀFIQUES DE REFLECTÀNCIA DE LES MOSTRES DEL CAPÍTOL 4

MOSTRA	Imatges		Reflectàncies d'una pila creixent de capes sobre el cos negre
	Sobre blanc	Sobre negre	
marró_2	 $FC_{visual} = 0.586$	 $FC_{MSSQ} = 0.599$	
marró_1	 $FC_{visual} = 0.590$	 $FC_{MSSQ} = 0.585$	
granat	 $FC_{visual} = 0.583$	 $FC_{MSSQ} = 0.595$	
magenta	 $FC_{visual} = 0.805$	 $FC_{MSSQ} = 0.823$	

MOSTRA	Imatges		Reflectàncies d'una pila creixent de capes sobre el cos negre
	Sobre blanc	Sobre negre	
rosa_2	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.849</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.843</math></p>	
rosa_1	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.865</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.831</math></p>	
salmó_2	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.755</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.778</math></p>	
salmó_1	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.836</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.820</math></p>	

MOSTRA	Imatges		Reflectàncies d'una pila creixent de capes sobre el cos negre
	Sobre blanc	Sobre negre	
carbassa_5	 $FC_{\text{visual}} = 0.891$	 $FC_{MSSQ} = 0.822$	
carbassa_4	 $FC_{\text{visual}} = 0.858$	 $FC_{MSSQ} = 0.806$	
carbassa_3	 $FC_{\text{visual}} = 0.688$	 $FC_{MSSQ} = 0.740$	
carbassa_2	 $FC_{\text{visual}} = 0.839$	 $FC_{MSSQ} = 0.837$	

MOSTRA	Imatges		Reflectàncies d'una pila creixent de capes sobre el cos negre
	Sobre blanc	Sobre negre	
<b>cru</b>	 $FC_{\text{visual}} = 0.762$	 $FC_{\text{MSSQ}} = 0.707$	
<b>verd</b>	 $FC_{\text{visual}} = 0.666$	 $FC_{\text{MSSQ}} = 0.658$	
<b>cian</b>	 $FC_{\text{visual}} = 0.583$	 $FC_{\text{MSSQ}} = 0.579$	
<b>blau</b>	 $FC_{\text{visual}} = 0.919$	 $FC_{\text{MSSQ}} = 0.937$	

MOSTRA	Imatges		Reflectàncies d'una pila creixent de capes sobre el cos negre
	Sobre blanc	Sobre negre	
<b>lila_2</b>	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.775</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.786</math></p>	
<b>lli_groc</b>	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.964</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.961</math></p>	
<b>lli_carbassa</b>	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.814</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.778</math></p>	
<b>c_lila</b>	 <p><math>FC_{\text{visual}} = 0.970</math></p>	 <p><math>FC_{\text{MSSQ}} = 0.956</math></p>	

Malgrat que la mesura de les reflectàncies s'ha fet sobre un cos negre, i a fi de donar una descripció més completa, es presenten les imatges de les teles escanejades tant sobre fons blanc com sobre fons negre.

## 7.5 ANNEX V: PUBLICACIONS RELACIONADES AMB LA TEMÀTICA DE LA TESI

1. **Tàpias, M.**; Escofet, J.; Ralló, M. “Determinación del factor de cobertura de un tejido mediante segmentación de su histograma”, a *Actas de la VII Reunión Nacional de Óptica* (Santander 2003).
2. **Tàpias, M.**; Ralló, M.; Escofet, J. “Fabric’s cover factor measurement by image thresholding”, a *5th Iberoamerican Meeting on Optics and 8th Latin American Meeting on Optics, Lasers and their Applications*, Proceedings of SPIE 5622, p. 188-193 (Isla Margarita, Venezuela, 2004).
3. Escofet, J.; **Tàpias, M.**; Ralló, M. “Medida del sesgo de un tejido mediante aplicación de la transformada de radon al espacio frecuencial”, a *Actas de la VIII Reunión Nacional de Óptica* (Alacant 2006).
4. Ralló, M.; Escofet, J; **Tàpias, M.** “Cover factor determination by means of reflectance measurement in textile webs”, a les actes del *6th Iberoamerican Meeting on Optics and 9th Latin American Meeting on Optics, Lasers and their Applications* (Campinas-SP, Brasil, 2007).
5. Ralló, M.; Escofet, J; **Tàpias, M.** “Objective measure of thread characteristics in non closely-woven fabrics by image processing”, a *SPIE Optics + Photonics, Proceedings of SPIE*, Vol. 7443, p. 7443-58 (San Diego, CA, 2009a).
6. **Tàpias, M.**; Ralló, M.; Escofet, J. “Medida de parámetros de hilatura y tejeduría a partir de imágenes de tejidos no tupidos”, a *Actas de la IX Reunión Nacional de Óptica* (Ourense, 2009b).
7. **Tàpias, M.**; Ralló, M.; Escofet, J. “Aplicación de la ley de Stevens en la elección del algoritmo de segmentación adecuado para determinar el factor de cobertura de un tejido”, a *Actas de la IX Reunión Nacional de Óptica* (Ourense, 2009c).
8. **Tàpias, M.**; Ralló, M.; Escofet, J. “Objective measure of woven fabric’s cover factor by image processing”, a *Textile Research Journal*, vol. 80, núm. 1, p. 35-44 (2010).
9. **Tàpias, M.**; Ralló, M.; Escofet, J. “Automatic measurements of partial cover factors and yarn diameters in fabrics using image processing”, a *Textile Research Journal*, vol. 81, núm, 2, p. 173-186 (2011).