

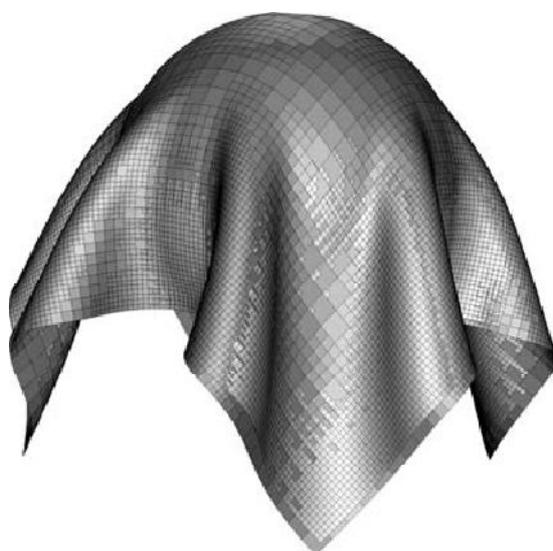


**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera

Programa de Doctorat d'Enginyeria Tèxtil i Paperera

Nuevas perspectivas sobre la evaluación del cayente de los tejidos de calada



Tesis Doctoral

Enric Carrera i Gallissà

Terrassa, 2014



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Departament d'Enginyeria Tèxtil i Paperera

Programa de Doctorat d'Enginyeria Tèxtil i Paperera

Nuevas perspectivas sobre la evaluación del cayente de los tejidos de calada

TESIS DOCTORAL

Enric Carrera i Gallissà

Terrassa, 2014

Xavier Capdevila Juan, Profesor Titular de Universidad, del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya y Josep Valldeperas, Catedrático de Universidad, del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya.

CERTIFICAN:

Que Enric Carrera i Gallissà, Ingeniero Técnico Textil y Master Universitario en Ingeniería Textil, Papelera y Gráfica, ha realizado bajo su dirección el trabajo de investigación titulado "*Nuevas perspectivas sobre la evaluación del cayente de los tejidos de calada*", que presenta para optar al grado de Doctor.

Y para que conste, expide el presente certificado en Terrassa a 14 de febrero de 2014.

Fdo: Xavier Capdevila Juan

Profesor Titular de Universidad

Fdo: Josep Valldeperas Morell

Catedrático de Universidad

A la Marina, la **sal** de la meva vida

Al meu pare Jesús, recentment traspasat

Agradecimientos

La presente tesis doctoral se ha desarrollado en el laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (DETiP) y en los laboratorios de tecnología textil química y el de parametría física textil del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Terrassa (INTEXTER), todos ellos de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). A todas las personas que trabajan en estos centros quisiera agradecer su generosa colaboración.

Además de las Unidades antes citadas, esta tesis ha sido posible gracias al apoyo recibido por diferentes personas que me han acompañado durante estos tres años y medio.

Al Dr. Xavier Capdevila, por su inestimable ayuda, apoyo, perseverancia y rigor en la dirección de la tesis. Las largas y apasionadas horas dedicadas al debate científico sobre el cayente de los tejidos han sido una de las mejores cosas que me han sucedido en esta Universidad durante muchos años.

Al Dr. Josep Valldeperas, su gran experiencia científica e industrial ha contribuido a orientar la tesis hacia aspectos prácticos y útiles para la industria, sin perder el rigor científico.

A la Dra. Teresa Vidal, Directora del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la UPC por su constante ánimo e inestimable apoyo institucional y personal a lo largo de la tesis y por la confianza mostrada durante mi etapa de Secretario de éste Departamento.

A la Dra. Manuela Menes del Departamento de Ingeniería Textil de la Universidade do Minho. Campus de Guimarães (Portugal) donde realicé una parte de los ensayos Kawabata de esta tesis. Por su generosidad y facilidades para la utilización de las instalaciones de este centro y por su acogida durante mi estancia en Guimarães.

A Joao Jorge, técnico responsable del laboratorio de Física textil del Departamento de Ingeniería textil de la Universidade do Minho, Campus de Guimarães (Portugal) por la paciencia que tuvo al enseñarme a utilizar el equipo Kawabata y atender a todas mis consultas.

A Mercedes Escusa, técnica del Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera por su ayuda en la realización de los ensayos del anillo-UPC, microscopía electrónica y otros apartados experimentales de la tesis.

A Dora Folch, Maria Cot y Joana Fernández, PAS del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, que me ayudaron, en un tiempo record, a recortar todas las probetas de tejido necesarias para el ensayo Kawabata.

A Ferrán Parés por su ayuda en el análisis del ligamento de los tejidos estudiados.

A José Antonio Tornero, responsable del Laboratorio de parametría física textil del INTEXTER por las facilidades dadas para la realización de una parte de los ensayos Kawabata.

A Mari Carmen Domenech y Francisco Cano, del INTEXTER por explicarme el funcionamiento de la parte del equipo Kawabata que hay en éste Instituto y atender a las consultas sobre la realización del ensayo.

A José Fresno del INTEXTER por ayudarnos en el montaje de la estructura para el drapómetro digital utilizado en la tesis y en mecanización de distintas piezas para el ensayo anillo-UPC.

Al Dr. Fernando Carillo del INTEXTER por la facilidades dadas para la utilización de las instalaciones del laboratorio de tecnología textil química de éste instituto.

Al personal del laboratorio de tecnología textil química del INTEXTER, por su inestimable ayuda en el tratamiento de ensosado de los tejidos de poliéster utilizados en la tesis.

A la Dra. Blanca Roncero por sus sabios consejos en la revisión de manuscritos de las publicaciones que ha generado esta tesis y por su constante apoyo y simpatía.

Al Dr. Antonio Torres, por su inestimable ayuda en la realización de los cálculos trigonométricos de la tesis y especialmente por su apoyo moral en las etapas menos emocionantes de la tesis.

Al Dr. Josep Colom que siempre me animado y apoyado a realizar y finalizar la tesis. Siempre ha mostrado un gran respeto por mis actividades tanto en el ámbito de la ingeniería textil como de la sostenibilidad.

A la Dra. Mónica Ardanuy por sus consejos y en particular por su contagioso entusiasmo por el trabajo.

A la Dra. Diana Cayuela, por su constante apoyo y ánimo.

A la profesora Cristina Rodríguez por sus comentarios sobre el proceso de ensado de los tejidos de poliéster.

Al Dr. Héctor Abril de la Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa (UPC), por su ayuda en la elaboración de los programas en MATLAB para la realización de cálculos trigonométricos y la transformada de Fourier.

Al Dr. Feliu Marsal, por animarme constantemente a iniciar y finalizar la tesis.

Al profesor Oriol Cusola por su ayuda en temas relacionados con la maquetación y edición de la tesis.

A Oriol Verdú de la empresa INFAIMON, por su ayuda en el uso del programa de análisis de imágenes Sherlock.

A todas las empresas que nos han facilitado los tejidos necesarios para la realización de la tesis.

Índice

Resumen	R-1
Capítulo 1. Introducción y objetivos	1-1
Capítulo 2. Materiales y métodos	2-1
Capítulo 3: Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada	3-1
Capítulo 4. Medida del cayente mediante el método “Box-Counting”	4-1
Capítulo 5. Análisis de la correlación entre los métodos de ensayo del anillo-UPC y el cayente	5-1
Capítulo 6. Análisis de la correlación entre los métodos de ensayo del anillo-UPC y el FAST	6-1
Capítulo 7. Análisis de la correlación entre los métodos de ensayo del anillo-UPC y el KES-F	7-1
Capítulo 8. Caso de estudio. Influencia de las variables del proceso del acabado “silk-like” en las propiedades del tejido	8-1
Capítulo 9. Conclusiones generales y líneas de investigación futura	9-1
Capítulo 10. Bibliografía general	10-1
Anexos	A-1

RESUMEN

La presente tesis se enmarca en el interés por la evaluación objetiva de tejidos y en particular de aquellas propiedades cuya evaluación tiene un componente subjetivo, como es el caso de la mano y el cayente.

La tesis evalúa el fenómeno del cayente estático de los tejidos de calada y para ello en primer lugar sitúa el análisis de ésta propiedad como un caso particular del comportamiento mecánico de los materiales laminares que los investigadores han abordado desde enfoques tan distintos como los modelos continuos, los discontinuos o simulación geométrica basada en partículas. Sin embargo la anisotropía de los tejidos dificulta notablemente la aplicación de los principios generales de la resistencia de materiales basada en el estudio del comportamiento de láminas isotrópicas.

Se hace una revisión histórica de las diversas aproximaciones al estudio del cayente de los tejidos a través de la evaluación de la rigidez a la flexión o de los diversos modelos de drapómetros desarrollados.

Se hace una revisión bibliográfica de los diferentes indicadores de cayente propuestos por los investigadores textiles desde 1950 hasta 2013, identificando un total de 36 distintos, de los cuales se explica detalladamente tanto su principio geométrico como la forma cálculo, unificando el lenguaje de los diferentes parámetros del cayente propuestos hasta la fecha. En esta tesis se ponen a punto dos técnicas de evaluación del cayente: la primera es la digitalización del drapómetro Cusick que permite tratar la información obtenida mediante un programa de análisis de imagen y estudiar de una forma

más potente y eficaz la forma y geometría del cayente, y la segunda es la simplificación del ensayo del anillo para adaptarlo a ensayos con fines industriales.

Se han calculado los 36 indicadores de cayente descritos para una muestra de 37 tejidos de calada comerciales de un amplio espectro de composiciones, gramajes y ligamentos que cubren los ámbitos de los tejidos de pañería, lanería, camisería y forrería mediante un drapómetro tipo Cusick digitalizado. Se han realizado un análisis de las correlaciones existentes entre los indicadores calculados y se han identificado como relevantes 7 indicadores. A continuación se ha realizado un análisis factorial de componentes principales observándose la existencia de 3 factores comunes, el primero explica la intensidad del cayente, el segundo la severidad y el tercero explica la simetría y la variabilidad de su forma. Paralelamente se ha realizado un análisis clúster para visualizar estos resultados. Finalmente se describe y valida experimentalmente un criterio para diferenciar la forma del cayente de tejidos con el mismo índice de cayente (DR%) mediante la aplicación secuencial de 4 indicadores.

Se analiza la forma del perfil del cayente mediante el estudio de su dimensión fractal mediante el método "Box-Counting" concluyendo que el estudio del comportamiento fractal de la curva del cayente no contribuye a mejorar la interpretación del fenómeno físico-mecánico dado por el método clásico de Cusick.

Se han analizado asimismo 7 indicadores de cayente y 4 parámetros del ensayo del anillo-UPC (desarrollado en ésta tesis) de 15 tejidos comerciales de pañería de diferentes composiciones, gramajes y ligamentos mediante correlaciones canónicas.

Se encuentra la ecuación de regresión que relaciona el DR% con el parámetro "h" del ensayo del anillo, concluyendo que el método de ensayo del anillo

puede ser utilizado a nivel industrial como herramienta para el control rutinario del cayente en los procesos de acabado de tejidos de pañería sin la necesidad de un equipo adicional específico para la determinación del cayente.

Con el fin de relacionar el cayente con la medición objetiva, se han analizado 42 tejidos de calada comerciales de diversas composiciones, ligamentos y gramajes, mediante el equipo FAST y una modificación del ensayo del anillo propuesto por el autor de la tesis. Se concluye que la formabilidad, la rigidez a la flexión, la fuerza máxima de extracción y el tiempo necesario para alcanzar este punto son los parámetros que más contribuyen a la correlación entre el sistema FAST y el ensayo del anillo. Se han obtenido las ecuaciones de regresión entre los principales parámetros FAST y los principales parámetros del ensayo del anillo, según correlaciones canónicas. Mediante la modificación del ensayo del anillo propuesto en esta tesis puede determinarse de una forma rápida sencilla y económica, la formabilidad, propiedad que hasta ahora sólo podía obtenerse mediante el equipo FAST.

A continuación se analizan, también, 37 tejidos de calada comerciales de diversas composiciones, ligamentos y gramajes, mediante el sistema Kawabata (KES-F) y anillo-UPC. Se concluye que los parámetros KES-F: LT, WT, EMT B, 2HB son los que más contribuyen a la correlación entre el sistema KES-F y el ensayo anillo-UPC. Se han obtenido las ecuaciones de regresión entre los principales parámetros KES-F y los principales parámetros del ensayo anillo-UPC, según correlaciones canónicas. Mediante el ensayo anillo-UPC puede determinarse de una forma rápida sencilla y económica los parámetros KES-F.

Para finalizar y como caso de estudio, se ha sometido un tejido de calada de PES 100% a un proceso de acabado "silk-like" en una planta piloto mediante un plan experimental de dos factores (concentración de sosa cáustica y tiempo de vaporizado) a tres niveles cada uno, con el fin de analizar la influencia de

Resumen

las variables del proceso en el cayente y mano de los tejidos, así como la relación entre la pérdida de peso y las propiedades del tejido acabado.

Se constata la existencia de una relación estadísticamente significativa entre la pérdida de peso del tejido y las variables de proceso estudiadas.

El tiempo de vaporizado no afecta a ninguno de los indicadores de cayente seleccionados, si bien, en algunos, interactúa significativamente con la concentración de sosa cáustica, la cual afecta a tres de los cinco indicadores estudiados.

El tiempo de vaporizado no afecta a ninguna de las propiedades FAST, si bien en algunos, interactúa con la concentración de sosa cáustica, la cual afecta significativamente a todos los parámetros FAST relacionados con la mano. Se han obtenido las ecuaciones de los modelos de regresión que permiten predecir los indicadores de cayente y mano del tejido a partir de la pérdida de peso del tejido.

RESUM

La present tesis s'emmarca en el interès per l'avaluació objectiva dels teixits i en particular d'aquelles propietats que la seva avaluació tenen una component subjectiva, como es el cas de la ma i el caient.

La tesi avalua el fenomen del caient estàtic dels teixits de calada i per això en primer lloc situa l'anàlisi d'aquesta propietat como un cas particular del comportament mecànic dels materials laminars que els investigadors han abordat des d'enfocaments tan distints como els models continus, els discontinus o bé la simulació geomètrica basada en partícules. L'anisotropia dels teixits dificulta, però, notablement l'aplicació dels principis generales de la resistència de materials basada en l'estudi del comportament de làmines isotròpiques.

Hom fa una revisió històrica de les diverses aproximacions a l'estudi del caient dels teixits a través de l'avaluació de la rigidesa a la flexió o dels diversos models de drapómetres desenvolupats.

Hom fa, també, una revisió bibliogràfica dels diferents indicadores de caient proposats pels investigadors tèxtils des de 1950 fins al 2013, tot identificant un total de 36 diferents, dels quals hom explica detalladament tan el seu principi geomètric como la forma càlcul, unificant el llenguatge dels diferents paràmetres del caient proposats fins ara. A aquesta tesi es posen a punt dos tècniques d'avaluació del caient: la primera es la digitalització del drapòmetre Cusick que permet tractar la informació obtinguda mitjançant un programa d'anàlisi d'imatges i estudiar d'una forma més potent i eficaç la forma i

geometria del caient, y la segona es la simplificació de l'assaig de l'anell per tal d'adaptar-lo a assaigs industrials.

Hom ha calculat els 36 indicadors de caient descrits para una mostra de 37 teixits de calada comercials d'un ampli espectre de composicions, gramatges i lligaments que abasten els àmbits dels teixits de panyeria, llaneria, camiseria i folreria mitjançant un drapòmetre tipus Cusick digitalitzat. Hom han realitzat una anàlisi de les correlacions existents entre els indicadors calculats i s' han identificat como a rellevants 7 indicadors. A continuació s'ha realitzat una anàlisi factorial de components principals tot observant l'existència de 3 factors comuns, el primer explica la intensitat del caient, el segon la severitat i el tercer explica la simetria i variabilitat de la seva forma. Paral·lelament s'ha realitzat una anàlisi clúster per visualitzar aquests resultats. Finalment hom descriu i valida experimentalment un criteri per diferenciar la forma del caient de teixits amb un mateix índex de caient (DR%) mitjançant l'aplicació seqüencial de 4 indicadors.

Hom analitza la forma del perfil del caient mitjançant l'estudi de la seva dimensió fractal tot utilitzant el mètode "Box-Counting" concloent que l'estudi del comportament fractal de la corba del caient no contribueix a millorar la interpretació del fenomen.

S'han analitzat, també, 7 indicadors de caient i 4 paràmetres de l'assaig de l'anell-UPC (desenvolupat en aquesta tesi) de 15 teixits comercials de panyeria de diferents composicions, gramatges i lligaments mitjançant correlacions canòniques.

Hom ha trobat l'equació de regressió que relaciona el DR% amb el paràmetre "h" de l'assaig de l'anell, concloent que el mètode d'assaig de l'anell pot ser utilitzat a nivell industrial como a eina per al control rutinari del caient en els processos d'acabat de teixits de panyeria sense la necessitat de disposar d'un equip adicional específic per a la determinació del caient.

Amb la finalitat de relacionar el caient amb l'avaluació objectiva, s'han analitzat, 42 teixits de calada comercials de diverses composicions, lligaments i gramatges, mitjançant l'equip FAST i una modificació de l'assaig de l'anell proposat per l'autor autor de la tesi. Hom conclou que la formabilitat, la rigidesa a la flexió, la força màxima d'extracció i el temps necessari per assolir aquest punt són els paràmetres que més contribueixen a la correlació entre el sistema FAST i l'assaig de l'anell. S'han obtingut les equacions de regressió entre els principals paràmetres FAST i els principals paràmetres de l'assaig de l'anell, segons correlacions canòniques. Mitjançant la modificació de l'assaig de l'anell proposat pot determinar-se d'una forma ràpida, senzilla i econòmica, la formabilitat, propietat que fins ara només es podia obtenir mitjançant l'equipo FAST.

A continuació hom analitza, també, 37 teixits de calada comercials de diverses composicions, lligaments i gramatges, mitjançant el sistema Kawabata (KES-F) i anell-UPC. Hom conclou que els paràmetres KES-F: LT, WT, EMT B, 2HB són els que més contribueixen a la correlació entre el sistema KES-F i l'assaig anell-UPC. Hom ha obtingut les equacions de regressió entre els principals paràmetres KES-F i els principals paràmetres de l'assaig anell-UPC, segons correlacions canòniques. Mitjançant l'assaig anell-UPC pot determinar-se d'una forma ràpida, senzilla i econòmica els paràmetres KES-F.

Para finalitzar i com a cas d'estudi, hom ha sotmès un teixit de calada de PES 100% a un procés d'acabat tipus "silk-like" en una planta pilot mitjançant un pla experimental de dos factors (concentració de sosa càustica i temps de vaporitzat) a tres nivells cadascun, amb la finalitat d'analitzar la influència de les variables del procés en el caient i la mà dels teixits, així como la relació entre la pèrdua de peso i les propietats del teixit acabat.

Resum

Hom constata l'existència d' una relació estadísticament significativa entre la pèrdua de peso del teixit i les variables de procés estudiades.

El temps de vaporitzat no afecta a cap dels indicadores de caient seleccionats, per bé que, en alguns, interactua significativament amb la concentració de sosa càustica, la qual afecta a tres de los cinc indicadors estudiats.

El temps de vaporitzat no afecta a cap de las propietats FAST, per bé que en alguns, interactua amb la concentració de sosa càustica, la qual afecta significativament a tots els paràmetres FAST relacionats amb la mà. Hom ha obtingut, també, les equacions dels models de regressió que permeten predir els indicadores de caient i mà del teixit a partir de la pèrdua de peso del teixit.

SUMMARY

This doctoral work was undertaken in response to existing interest in developing effective methods for the objective assessment of fabric properties (particularly hand and drape, which possess a subjective component).

This dissertation assesses static drape in woven fabrics by dealing with this property as a particular aspect of the mechanical behaviour of layered materials which researchers have previously approached in various ways involving continuous or batch methods, or even particle-based geometric simulation. However, fabric anisotropy considerably hinders direct application of the general principles behind material resistance via isotropic layer methodology.

A historical background of existing approaches to drape fabric assessment based on bending rigidity or using specific drape meters is provided. Also, drape indicators reported by textile researchers from 1950 to 2013 are examined. A total of 36 indicators were identified that are described in detail as regards geometric principle and calculation in order to unify existing designations for drape-related parameters.

Two effective drape assessment techniques were developed. One uses a digital version of the Cusick drape meter to process visual information with imaging software in order to examine drape shape and geometry in a more powerful, efficient manner. The other is a simplified version of the ring test amenable to industrial use.

Summary

A digital Cusick drape meter was used to determine the 36 indicators in a sample of 37 different commercial drapery, woolmaking, shirtmaking and lining woven fabrics spanning a wide range of composition, weave type and aerial weight. Correlation analysis of the results allowed seven of the indicators to be selected as the most suitable choices for the intended purpose. Principal component analysis of their results revealed that they share three common factors accounting for drape intensity, drape severity, and drape symmetry and shape variability, respectively. The results were also examined in graphical form by using cluster analysis in parallel. Finally, a criterion for distinguishing drape shape in fabrics with an identical drop ratio (%DR) in terms of four sequentially determined selected indicators was developed and experimentally validated.

Drape profiles were examined by using the Box-Counting method to assess their fractal dimension. This procedure, however, was found not to improve on the interpretation of the physico-mechanical phenomenon of drape provided by Cusick's classic method.

An additional set of 15 commercial drapery fabrics of variable composition, weave type and aerial weight were used to determine 7 selected drape indicators and 4 parameters of the UPC ring test, developed in this doctoral work. The results were subjected to canonical correlation analysis.

A regression equation relating %DR to parameter h in the ring test was established. The test was found to be an effective tool for the routine industrial control of drape in variously finished drapery fabrics without the need for dedicated drape measurement equipment.

Drape subjective assessments were related to objective measurements of 42 commercial woven fabrics of variable composition, weave type and aerial weight made with both FAST equipment and the proposed ring method. Based on the results, formability, bending rigidity, and maximum extraction force and

the time needed to reach it, are the four parameters best correlating the two methods. Regression equations relating the main FAST and ring test parameters were established via canonical correlation analysis. The proposed ring method allows the simple, economical determination of fabric tailorability, which was only possible with FAST equipment before.

A sample of 37 commercial woven fabrics also differing in composition, weave type and aerial weight was assessed by using the Kawabata (KES-F) system and the proposed (UPC ring) method. The KES-F parameters LT, WT, EMT B and 2HB were found to be the most highly correlated with the parameters of the UPC ring method. Regression equations relating the major parameters of the two methods were established via canonical correlations. As found here, the UPC ring test allows KES-F parameters to be accurately determined in a simple, inexpensive manner.

A case study involving a woven fabric consisting of 100% PES was subjected to a silk-like finishing treatment at a pilot plant. An experimental plan involving 2 factors (viz., soda concentration and vaporization time) at 3 different levels each was used to assess the influence of process variables on fabric drape and hand, as well as to relate weight losses to specific properties of the finished fabric. Fabric weight loss was found to exhibit statistically significant relationships with finishing process variables. Although the vaporization time influenced none of the studied drape indicators, it interacted significantly with the soda concentration—which affected three of the five indicators studied—in some cases. The vaporization time affected no FAST parameter either but interacted with the soda concentration—which influenced all had-related FAST parameter—in some instances. Regression equations allowing drape and hand indicators to be accurately predicted from fabric weight loss were developed.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

INDICE	página
1. Introducción	1-2
1.1 El cayente	1-2
1.1.1 Antecedentes históricos	1-2
1.2 Estructura de los tejidos y sus propiedades	1-6
1.2.1 Modelos continuos	1-9
1.2.2 Modelos discontinuos	1-12
1.2.3 Otras aproximaciones	1-13
1.2.4 Los tejidos de calada como materiales anisotrópicos	1-14
1.3 Evaluación del cayente de los tejidos	1-15
1.3.1 Longitud del voladizo	1-16
1.3.2 Drapómetro Cusick	1-23
1.3.3 Drapómetro mecánico	1-28
1.3.4 Drapómetro SODEMAT	1-30
1.3.5 Drapómetro fotoeléctrico	1-31

	Página
1.3.6 Drapómetro Sun	1-31
1.3.7 Drapómetro elevador	1-35
1.3.8 Drapómetros digitales	1-39
1.3.9 Drapómetro [TC] ²	1-41
1.3.10 Drapómetro Sylvie Cat System	1-42
1.4 Problemática de la evaluación del cayente	1-43
1.4.1 Influencia del tamaño de la probeta	1-43
1.4.2 Repetitividad de los ensayos	1-43
1.4.3 Variación del cayente con el tiempo	1-44
1.5 Objetivos generales de la tesis	1-45
1.6 Objetivos específicos	1-47
1.7 Bibliografía	1-49

Capítulo 1

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

RESUMEN

El capítulo se inicia con un breve repaso histórico de la importancia del cayente en la estética de la indumentaria y su reflejo en la escultura y pintura así como del interés que en la actualidad genera el estudio de este fenómeno en el ámbito de la computación gráfica, animación y videojuegos. A continuación se hace un repaso de los distintos modelos físico-matemáticos utilizados para estudiar el comportamiento de los tejidos como materiales anisotrópicos.

Se realiza, también, una descripción detallada de las diferentes tipologías de drapómetros desarrollados hasta la fecha así como la problemática relacionada con la evaluación del cayente mediante los modelos de tipo Cusick en cuanto a la influencia del tamaño de la probeta, repetitividad de los ensayos y la variación del cayente con el tiempo.

El capítulo finaliza con la descripción de los objetivos generales y específicos de la tesis

1. Introducción

1.1 El cayente

Según la norma British Standard BS 5058-1973, el cayente es: “*el grado en que un tejido se deforma cuando se deja colgar libremente por acción de su propio peso*”.

El cayente, junto con la mano de los tejidos, es una propiedad que los consumidores evalúan de forma subjetiva a través de las sensaciones que perciben cuando observan o bien tocan los tejidos. En la medida que su apreciación puede llegar a ser un factor determinante en el criterio de compra de determinados tejidos, su medición, adquiere una especial importancia industrial, económica y comercial. Sin embargo a pesar de que esta propiedad textil se determina de forma visual, se evalúa -en cambio- de forma subjetiva en base a patrones socioculturales e históricos variables en el tiempo (moda) y en el espacio (latitud geográfica).

1.1.1 Antecedentes históricos

Mucho antes del pionero trabajo de Pierce (1), artistas y escultores ya habían mostrado interés sobre la forma y tipología de los pliegues que adoptaban los tejidos cuando se dejaban caer libremente. El cayente se manifiesta claramente en los drapeados (del latín *drappus*, paño) de las esculturas griegas como la Venus helenística o especialmente la Auriga de Delfos que presentan unas túnicas con un cayente singular y notable, tal como puede verse en la figura 1-1. La escultura romana, tampoco es ajena a este interés y la calidad de sus artistas se reflejaba por su capacidad para representar

fielmente las complejas formas de las túnicas de personajes públicos tal como se muestra en la figura 2-1.

Un buen ejemplo de pintura clásica relacionada con el cayente de los tejidos es el retrato del cardenal Richelieu realizado por Philippe de Champaigne mostrado en la figura 3-1, donde pueden verse los abundantes pliegues y el cayente de su espectacular túnica roja.



Figura 1-1. Venus helenística (izquierda) (2) y Auriga de Delfos (derecha) (3)



Figura 2-1. Izquierda: "Mujer y niño" del Museo capitolino de Roma. Centro: Nerón, Museo del Louvre. Derecha: Augusto, Palazzo Massimo de Roma (4).



Figura 3-1. Retrato del cardenal Richelieu de Philippe de Champaigne (5).

En latitudes orientales donde la cultura de la seda tiene una gran importancia socio-cultural los cayentes propios de éstos tejidos se aprecian especialmente (figura 4-1) e incluso se han desarrollado procesos industriales de acabado de tejidos de poliéster que pretenden imitar los cayentes sedosos (ver capítulo 8).



Figura 4-1 Imagen de un Kimono de seda natural (6)

A finales del siglo XX las investigaciones sobre el cayente de los tejidos han atraído la atención tanto de investigadores textiles como de la industria de la confección de prendas de vestir y la de la computación gráfica. De hecho, el gran desarrollo experimentado en las últimas décadas en la ciencia de la computación, tanto en resolución gráfica, velocidad de cálculo como en software ha permitido avanzar muy notablemente en la simulación digital del cayente tridimensional de los tejidos ubicados encima de cuerpos humanos en movimiento. Curiosamente el mayor interés en éste ámbito de estudio ha venido de la industria de la animación y videojuegos como Disney y Pixar, donde la simulación del cayente dinámico de las prendas de sus personajes en movimiento aporta una gran dosis de realismo a sus producciones.

La secuencia de la bailarina en la película de dibujos animados Fantasía 2000 de la productora Disney (figura 5-1) o bien del personaje Yoda de la segunda película de la saga de la Guerra de las Galaxias (figura 6-1) son buenos ejemplos de todo ello y de la evolución experimentada por el sector.



Figura 5-1. Secuencia de una bailarina de la película Disney Fantasía 2000 (7)



Figura 6-1. Yodar, personaje virtual de la película “Guerra de las Galaxias 2” (8)

1.2 Estructura de los tejidos y sus propiedades

Muchos de los fenómenos de la mecánica de los tejidos tienen su equivalencia en la mecánica de las estructuras sólidas. Sin embargo la particular microestructura y especialmente la baja rigidez a la flexión que presentan los tejidos en comparación con la rigidez de estructuras laminares parecidas como las membranas hacen que los tejidos presenten un comportamiento no lineal y por regla general una elevada flexibilidad y distorsión lateral (9). Esto ha fomentado que muchos investigadores hayan estudiado el comportamiento del cayente de los tejidos como un problema de un sistema dinámico no lineal (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20). En definitiva se puede afirmar que el comportamiento mecánico de los tejidos es mucho más complejo que el de los materiales utilizados convencionalmente en la ingeniería. Esta singularidad hace que los métodos tradicionales utilizados para el análisis y experimentación de esta problemática presenten limitaciones cuando se aplican en el estudio de tejidos textiles.

La compleja geometría de la microestructura porosa de los tejidos hace prácticamente imposible disponer de una solución analítica sencilla en el estudio de las deformaciones de los tejidos, incluso para casos tan aparentemente sencillos como el caso del estudio del cayente. Debido a este tipo de dificultades, la utilización de métodos numéricos y sistemas informáticos de apoyo se postulan como una buena forma de abordar la mayoría de los problemas de la mecánica de los tejidos.

La figura 7-1 muestra un modelo simplificado de la configuración teórica de los hilos componentes de un tejido de calada (21), que contrasta con la imagen real de este mismo hilado mostrado en la figura. 8-1. En el modelo teórico, la forma de la sección transversal y las propiedades físicas de un hilado se idealizan. Incluso para este modelo sencillo, los cálculos para establecer los parámetros geométricos requeridos hacen referencia a funciones trascendentes. Para estos parámetros geométricos no hay soluciones analíticas explícitas (21).

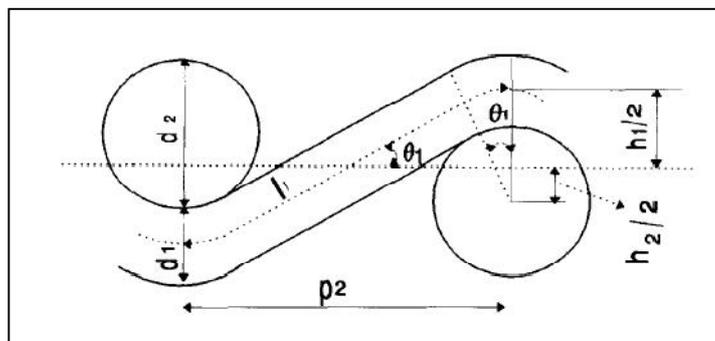


Figura 7-1. Modelo simplificado de la configuración teórica de los hilos de un tejido de calada (21)

Los primeros estudios sobre las propiedades mecánicas de los tejidos fueron realizados a finales del siglo XIX por investigadores alemanes que trabajaban en el desarrollo de dirigibles (22). En el ámbito de la literatura científica

anglosajona se presenta un modelo geométrico y de fuerzas mecánicas para la estructura de un tejido de calada con ligamento de tafetán (21). Ambos artículos han sido ampliamente utilizados y modificados posteriormente por otros autores.

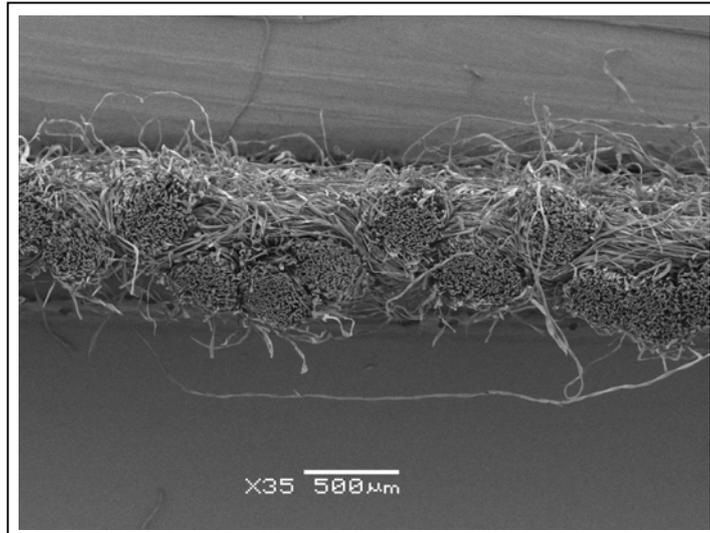


Figura 8-1. Imagen de la sección de un tejido de calada. Fuente: Servicio Microscopia electrónica, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (UPC).

En los últimos 100 años se han realizado notables avances en la teoría de la estructura geométrica y comportamiento mecánico de los tejidos. Como respuesta a la demanda de la industria, los estudios sobre este campo, han pasado de las etapas de la observación y explicación del fenómeno a las de la predicción y optimización. Los principales avances sobre este campo de estudio pueden encontrarse en los dos libros editados por los principales expertos en este campo (23, 24). La mecánica de los tejidos, se estudió en un taller del Instituto de Estudios Avanzados de la OTAN celebrado en 1979 (24). Uno de los principales logros de estas investigaciones ha sido el desarrollo del sistema de evaluación objetiva de tejidos Kawabata (KES-F)

para la determinación de la mano de los tejidos (25). El tiempo ha demostrado la gran utilidad de este sistema tanto en el desarrollo de nuevos tejidos, procesos y productos de acabado como en su confeccionabilidad (26).

Desde el taller realizado en el Instituto de Estudios Avanzados de la OTAN que se ha comentado anteriormente, los avances en éste ámbito de estudio se han ralentizado notablemente. El mayor obstáculo que presenta el desarrollo de los estudios en la mecánica de los tejidos es la complejidad de las ecuaciones matemáticas utilizadas para describir el comportamiento complejo de los tejidos. Por otra parte el limitado espectro de soluciones que presentan este tipo de ecuaciones mediante las técnicas analíticas tradicionales ha desincentivado bastante el interés de la comunidad científica por este ámbito de estudio y en la confianza que el estudio de los fundamentos teóricos de la mecánica de los tejidos pueda conducir a aplicaciones prácticas significativas.

En la década de los 60 del siglo XX diversos investigadores del Instituto de Ciencia y Tecnología UMIST de la Universidad de Manchester utilizaron por primera vez técnicas computacionales para el estudio de la mecánica de los tejidos y su comportamiento (27). Los expertos en este ámbito de estudio han seguido varios enfoques distintos desde los modelos continuos a los discontinuos pasando también por modelos físico-geométricos simplificados (28).

1.2.1 Modelos continuos

En este enfoque, el tejido es tratado como un material continuo sin considerar su particular microestructura de tal forma que para el análisis de las deformaciones del tejido se utilizan métodos matemáticos propios de la mecánica de los elementos continuos.

Sin embargo, este enfoque difícilmente puede aplicarse de forma general para el estudio de las deformaciones no lineales de los tejidos y requiere la elaboración de ecuaciones específicas así como de programación específica para su obtención y cálculo (29, 30).

La forma más potente y versátil de abordar la predicción del comportamiento mecánico de los tejidos es la utilización de los elementos finitos. Esta metodología que fue desarrollada en los años 50 del siglo XX para abordar los problemas de la ingeniería de estructuras de acero y otros materiales rígidos es actualmente también una herramienta de análisis esencial para muchos campos de la ingeniería (28).

Algunos investigadores han intentado utilizar el enfoque que aportan los elementos finitos en el ámbito de estudio que nos ocupa, con éxito diverso (31). En esta línea se ha conseguido predecir el cayente de un tejido analizándolo como si fuera una membrana ortotrópica utilizando un método geométrico de elementos finitos no lineales (12). Mediante un equipo Kawabata se obtuvo el módulo de tensión de la urdimbre y la trama obteniendo asimismo los valores del coeficiente de Poisson que aparecen en la literatura. Con esta metodología este autor (12) obtuvo una razonable concordancia entre la predicción teórica del cayente y los resultados experimentales.

En otro estudio se trató también a los tejidos como si fueran láminas ortotrópicas y para el estudio de los fenómenos de flexión utilizó elementos lámina presentando algunos ejemplos sobre el cayente (32). Este autor ha sido el único capaz de poner sobre la mesa resultados numéricos que demuestran que las diferencias entre el cayente predicho mediante este sistema y el medido experimentalmente difieren en un 10 % aproximadamente.

Se ha utilizado, también, la teoría de láminas sometidas a flexión y a esfuerzo cortante para predecir el cayente de los tejidos (10). En este estudio también trataron el tejido como un material continuo y ortotrópico, utilizando elementos finitos para resolver las ecuaciones. Consideraron el tejido como una lámina plana, que se deforma cuando se deja caer libremente por acción de su propio peso. Precisamente fue el gramaje del tejido el parámetro utilizado para definir el modelo. Los autores utilizaron el método de interacción de Newton-Raphson para resolver ecuaciones no lineales de equilibrio. Las propiedades de los materiales utilizados en el modelo fueron el módulo de Young de la urdimbre y la trama, el módulo de cizalladura, y el coeficiente de Poisson. Finalmente en menos de 8 minutos se obtuvo una simulación satisfactoria del cayente de una probeta de tejido de 30 x 30 cm extendido sobre un pedestal cuadrado de 12 x 12 mediante una workstation IBM RS 6000.

Todo lo explicado anteriormente muestra que es posible simular el cayente de un tejido mediante elementos finitos no lineales, tratando a los tejidos como si fueran láminas ortotrópicas bidimensionales con la flexión y rigidez de una membrana. Los estudios realizados hasta ahora sólo han sido capaces de analizar el cayente de una forma muy elemental. Dado que el análisis de las deformaciones de los tejidos es más difícil de realizar que en otros materiales convencionales utilizados en ingeniería, todavía hace falta avanzar mucho para modelizar con suficiente precisión y fiabilidad todos los posibles tipos de deformación de los tejidos. En el futuro inmediato, habrá que investigar más para realizar comparaciones más precisas entre modelos numéricos teóricos y resultados experimentales para un amplio espectro de cayentes. Esto ayudaría a establecer la validez del enfoque continuo en el modelado de deformaciones de los tejidos.

Otro aspecto que no ha sido tratado es el efecto de relaciones de tensión-deformación no lineales sobre las deformaciones de los tejidos. Esto se debe

en parte a la falta de ecuaciones no lineales propias de la estructura de los tejidos. Posteriormente se realizó un amplio estudio sobre las estructuras y propiedades mecánicas de los tejidos donde establece todo un conjunto de ecuaciones no lineales de los elementos que contribuyen a las propiedades de los tejidos como tensión axial, flexión, cizalladura y compresión (33). La utilización de estas ecuaciones en la simulación con elementos finitos se espera que pueda mejorar la exactitud de la predicción y contribuya a visualizar mejor el efecto de las propiedades no lineales de los tejidos en el aspecto de las prendas de vestir.

1.2.2 Modelos discontinuos

En contraste con los modelos continuos descritos anteriormente, la modelización de los tejidos puede realizarse también a partir de la información de sus elementos componentes como son los hilos de urdimbre y trama en el caso de los tejidos de calada. Diversos autores utilizaron modelos discretos para predecir la respuesta mecánica de los tejidos a partir de la combinación de propiedades de hilo, el ligamento y las interacciones entre ellos (34, 35, 36, 37, 38, 39). Su trabajo, de tipo analítico más que numérico, requiere una gran cantidad de matemáticas y programación específica. En la literatura textil, este tipo de estudios se denominan habitualmente como mecánica estructural de los tejidos (23).

Si consideramos los hilados como si fueran varillas curvas o rectas con puntos de fricción en el cruce entre la urdimbre y la trama en función de la evolución del ligamento, la metodología de los elementos finitos puede utilizarse para estudiar tejidos utilizando modelos discontinuos. A partir de esta concepción se ha estudiado, también, la respuesta dinámica del tejido cuando está sometido a esfuerzos de tracción y desgarro (40).

Por si mismo un modelo discontinuo tiene una utilidad limitada en la predicción de las deformaciones complejas de un tejido debido a la ingente cantidad de hilos que intervienen, sin embargo puede ser útil para predecir las propiedades mecánicas del tejido a partir de las propiedades de los hilos dado que con sólo una pequeña porción del tejido es suficiente para hacer la modelización. El problema es, pues, computacionalmente factible.

Sin embargo la obtención de leyes reales sobre la deformación de los tejidos sólo puede conseguirse mediante técnicas experimentales y la obtención de tejidos con diferentes características estructurales, es un proceso bastante lento y caro, de ahí el interés que tiene la utilización de técnicas de modelización.

1.2.3 Otras aproximaciones

La comunidad de investigadores de expresión gráfica mediante ordenador han tenido un gran interés en reproducir el comportamiento dinámico de los tejidos mediante la animación digital y ya han realizado varios modelos basados en procesos geométricos o modelos físicos simplificados (41). En realidad su propósito no es conseguir una fiel reproducción del comportamiento de los materiales deformables sino una simulación verosímil y creíble que de sensación de realidad a sus animaciones. Los procesos geométricos junto con simplificaciones físicas también se han aplicado con éxito en el campo de los materiales compuestos (42).

Otros autores han propuesto un modelo basado en las partículas en la simulación del cayente de un tejido (43). En su modelo físico, el tejido no se trata como una lámina continua, sino como un conjunto de partículas que, conceptualmente, representan los puntos de cruce entre hilos de urdimbre y

trama en un tejido de tafetán. Las diversas limitaciones y de las interacciones entre las partículas están representados por funciones de energía que se definen a partir de datos del ensayo Kawabata, obteniéndose algunos resultados prometedores.

1.2.4 Los tejidos de calada como materiales anisotrópicos

Una singularidad de los tejidos textiles es que se trata de materiales anisótropos (*se refiere a la particularidad o capacidad que tiene un material de expandirse y/o contraerse en sus diversas direcciones*) de forma que su propiedades varían notablemente en el sentido u orientación en el que son analizados. La rigidez a la flexión no es una excepción y es sabido que varía notablemente si se analiza por urdimbre, por trama o al bias (45°). Varios autores estudiaron este fenómeno en 7 tejidos de calada de bajo gramaje con distintos ligamentos y composiciones (44). Para la medida de la rigidez a la flexión se utilizó el equipo FAST-2 (25) y las probetas respectivas se cortaron en 12 inclinaciones diferentes. Para cada dirección se cortaron 3 probetas siguiendo la típica metodología utilizada en este ensayo (4 lecturas por probeta, es decir: haz, envés, un extremo y otro). Las diferencias obtenidas en este estudio demostraron el comportamiento anisotrópico de la rigidez a la flexión de los tejidos estudiados.

El comportamiento a la flexión de los tejidos de calada puede caracterizarse también mediante la rigidez a la flexión (B) o bien la histéresis de la flexión (2HB) obtenidas en el ensayo Kawabata (25). La rigidez a la flexión es la resistencia que ofrece el tejido a ser flexionado y puede definirse como la primera derivada de la curva del momento de curvatura. La histéresis de la

flexión es la energía perdida por el tejido durante el ciclo de flexión y recuperación.

Muchos investigadores han realizado estudios sobre la rigidez a la flexión de los tejidos en varias direcciones, sin embargo muy pocos sobre la histéresis de la flexión (1, 45, 46, 47, 48). Tanto (36) como (33) encontraron una elevada relación entre rigidez a la flexión y la histéresis de la flexión. Se encontró, también, una muy buena correlación entre los parámetros de flexión e histéresis medidos a partir de las curvas de recuperación de la deformación de la flexión (36). Otras investigaciones muestran unos elevados coeficientes de correlación (0,933) entre la rigidez a la flexión y la histéresis de la flexión para tejidos de algodón (33). Para tejidos de estambre las correlaciones entre B y 2HB son también elevadas (0,787 y 0,759 respectivamente) lo que implica que la rigidez de flexión y flexión de histéresis no son independientes, pero tienen una relación lineal.

1.3 Evaluación del cayente de los tejidos

Dado que el cayente se trata de una propiedad ciertamente relevante, su evaluación tiene igualmente un notable interés en la medida que contribuye a conocer mejor los factores que influyen en esta propiedad y a comprobar la capacidad de los procesos industriales en reproducirla adecuadamente de forma repetitiva en diferentes tipos de substratos.

Históricamente el cayente, como la mano del tejido, ha sido evaluado visualmente de forma subjetiva por expertos. Sin embargo este tipo de evaluación está sujeta a los vaivenes de la moda. En los años 60 del siglo XX cuando en la moda predominaban estilos rígidos y geométricos los evaluadores preferían los tejidos con menor cayente. Más tarde cuando en los

años 90 se impusieron los diseños fluidos los evaluadores se decantaron por tejidos con un elevado cayente (49). Esta evaluación cultural del cayente no contribuye al avance de la tecnología textil en la medida que no aporta una evaluación objetiva y estable de una propiedad de gran trascendencia comercial.

Dado que la evaluación subjetiva del cayente puede dar lugar a muchas imprecisiones, la evaluación objetiva ha generado un gran interés por parte de los investigadores textiles desde los años 30 del siglo XX (1). Este interés ha aumentado notablemente en los últimos años como consecuencia del gran desarrollo los sistemas CAD y comercio electrónico de tejidos y la necesidad de incorporar las propiedades de éstos en las herramientas informáticas de simulación del aspecto tridimensional de las prendas, primero de forma estática y posteriormente de forma dinámica.

1.3.1 Longitud del voladizo

El método de longitud del voladizo, fue el primero en ser usado para evaluar indirectamente el cayente de los tejidos al reconocerse que la rigidez a la flexión de éstos tiene una gran influencia en su cayente (1). En éste método, el tejido simula el voladizo de una viga que al ser cargada por su propio peso se dobla y la secante que define sus extremos define un ángulo con la horizontal (ver figura 9-1).

Siendo “ l ” la longitud de la muestra (voladizo), la longitud de curvatura “ c ” se define como una función del ángulo de la secante:

$$c = l \cdot f(\theta)$$

Y esta función del ángulo puede definirse como:

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\operatorname{tg} \theta}}$$

La rigidez a la flexión o curvatura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$B = P \cdot c^3$$

donde:

B = es la rigidez a la flexión ($\mu\text{N}\cdot\text{m}$)

P = masa superficial del material (g/m^2)

c = longitud de curvatura (m)

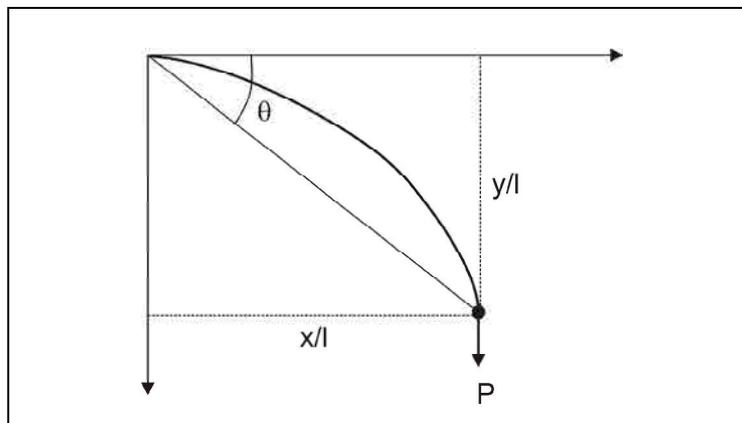


Figura 9-1. Principio físico del método de la longitud del voladizo (50)

A partir de éste método (1), se han desarrollado diversos equipos basados en la longitud del voladizo como el “Shirley Stiffness Tester” (figura 10-1), que

Capítulo

mide la longitud de voladizo "l" necesaria para que la probeta alcance una deformación correspondiente a un ángulo de la secante de 41,5°. La elección de éste ángulo está basada en que la longitud de curvatura es la mitad de la longitud del voladizo:

$$\frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\operatorname{tg} \theta} = 1,05 \cong 1 \quad , \quad B = P \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3$$

Y entonces la longitud de curvatura es una cierta medida de la rigidez a la flexión.

$$c = \left(\frac{B}{P}\right)^3$$

El equipo Shirley (51) descrito a continuación es el que se utiliza en la norma UNE 40-392-79 para la determinación de la rigidez a la flexión de un tejido que no posea deformaciones permanentes o presente una marcada tendencia a arrollarse por su extremo libre.

El fundamento de este ensayo consiste en retener una tira de tejido por un extremo, en posición horizontal, y se deja libre o en voladizo por el otro. Como consecuencia del peso del propio tejido, éste se flexa o dobla, aumentando dicho doblado al aumentar la longitud del voladizo. El procedimiento consiste en determinar la longitud de tejido en voladizo necesaria para que la flexión o doblado del extremo libre forme un ángulo fijo, con respecto a un plano horizontal.

Para la realización del ensayo se cortan como mínimo 4 tiras de 25 mm x 150 mm, en su sentido urdimbre y trama, respectivamente.

Las probetas se mantienen 24 horas sobre una superficie plana horizontal, en atmósfera normal (20° C ± 2° y 65 % ± 2 % de humedad relativa).

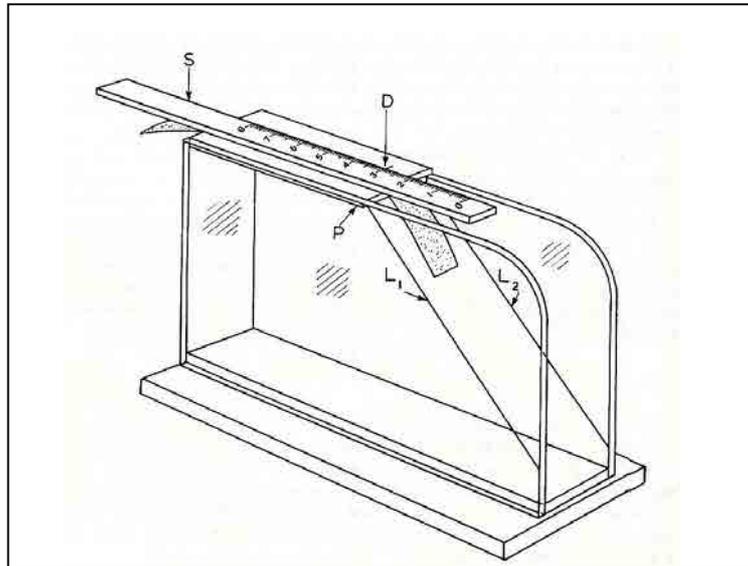


Figura 10-1. Aspecto del Shirley Stiffness Tester. (51)

Se coloca la probeta sobre la plataforma D del aparato descrito anteriormente, de forma que el extremo de la probeta coincida con el extremo de la plataforma D y de la regla graduada S.

Se hace deslizar hacia la derecha, la regla y el tejido sobre la plataforma D. Al quedar en voladizo el tejido se dobla por acción de su propio peso. Cuando el extremo de la probeta coincide con las líneas paralelas L_1 ó L_2 , se lee sobre la regla S la longitud del voladizo. El ensayo se repetirá para cada probeta colocada en las cuatro posiciones posibles (cada uno de sus extremos por el haz y por el envés).

Se determinan los siguientes parámetros:

- a) Longitud de curvatura c , $c = \frac{l}{2}$
- b) Rigidez a la flexión R , $R = 0,1 \cdot c^3 \cdot P$

Capítulo

donde,

l = longitud de voladizo expresado de regla y tejido desplazados (valor medio de las mediciones llevadas a cabo) (cm)

P = Peso por metro cuadrado del tejido (g/m^2)

g = Grueso o espesor del tejido (mm)

c = Longitud de curvatura en (cm)

R = Rigidez a la flexión ($\text{mg} \cdot \text{cm}$)

Puede obtenerse el valor medio total de la rigidez a la flexión R_G como la media geométrica de la Rigidez a la flexión por urdimbre R_V y la Rigidez a la flexión por trama R_T .

$$R_G = \sqrt{R_V \cdot R_T}$$

Se puede calcular asimismo el Módulo de curvatura “q”, expresado en kg/cm^2 mediante la siguiente fórmula:

$$q = \frac{12}{10^6} \cdot \frac{R}{g^3}$$

Como ya se ha indicado anteriormente el método del voladizo ha sido usado para la valoración indirecta y objetiva del cayente, no obstante se trata de una medida bidimensional que no refleja la naturaleza real del cayente que implica deformaciones en tres dimensiones y deformaciones de doble curvatura.

A principios de los años 50 del siglo XX se compararon los resultados de la evaluación subjetiva de la rigidez a la flexión con cinco métodos de laboratorio de medición objetiva de éste parámetro (52). Los resultados obtenidos

muestran que el ensayo de la longitud del voladizo propuesto por Pierce presenta la mejor correlación y en cuatro de los cinco métodos comparados presentaban una correlación significativa con la evaluación subjetiva.

En el año 1980 la empresa FRL Machines Inc., afirmó que su instrumento de medición de la flexión por el método del voladizo era capaz de determinar tanto la rigidez a la flexión de una hoja delgada como de tejidos textiles y otros materiales incluidas las alfombras. A partir de estos equipos se han hecho diversos desarrollos en términos de automatización.

El sistema FAST (Fabric Assurance by Simple Testing) desarrollado por el centro australiano CSIRO para la evaluación de la confeccionabilidad de los tejidos de calada de lana y mezclas utiliza un equipo llamado FAST-2 consistente en un medidor de la rigidez a la flexión por el método de la longitud del voladizo (54). El principio es muy similar al equipo Shirley antes descrito en el cual la probeta de tejido se flexiona por acción de su propio peso alcanzando una deformación de un ángulo de 41.5° respecto a la horizontal. La medida de las probetas (2,45 x 50 mm) es algo distinta que el Shirley y el sistema de medición de la deformación del tejido es totalmente electrónico. La probeta se desliza horizontalmente por un voladizo de tal forma que el tejido sobresaliente entra en una cavidad debiendo parar el avance del tejido cuando una señal luminosa nos indica que el tejido ha interceptado un haz de luz infrarroja inclinado a 41.5° respecto a la horizontal. Debajo de la probeta el tejido roza con un disco que mide el avance del tejido y por lo tanto la longitud del voladizo. Esta longitud (mm) se muestra en una pequeña pantalla y su valor numérico es enviado a un ordenador central que registra, en línea, todas las medidas realizadas por los distintos aparatos del equipo FAST (figura 11-1).

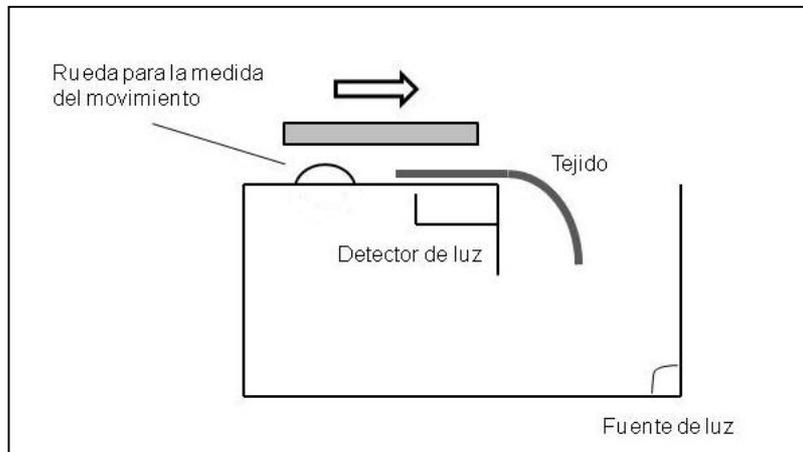


Figura 11-1. Esquema de funcionamiento del FAST-2 (54)

En 1990 se desarrolló un método indirecto de medida de la relación del momento de curvatura para tejidos (55). Al mismo tiempo se desarrolló un método para medir el perfil del cayente del voladizo. La probeta de tejido es sujeta por un extremo y sometida a la acción de su propio peso en un voladizo de tal forma que se registran las coordenadas deformadas. La ventaja de éste método es que se obtienen los datos del comportamiento de flexión no lineal inherente en la mayoría de tejidos, a diferencia del tradicional método del voladizo. La imagen del cayente obtenida mediante un sensor láser puede ser usada para la verificación de la simulación numérica de los resultados.

En 1994 (56), se propuso una alternativa al equipo Shirley y FAST-2. El autor de la propuesta, hace hincapié que ambos equipos utilizan una barra o regla deslizante para arrastrar la probeta hacia el voladizo y constata las dificultades que ello genera en los tejidos de filamento continuo debido a la distorsión o deformación que se genera en la probeta por el bajo nivel de agarre de la regla deslizante sobre el tejido. Para evitar este problema el autor propone un instrumento de medida que combina los principios del equipo Shirley y FAST-2

pero que utiliza un peine similar al utilizado en los equipos de clasificación de fibras.

Todos los instrumentos descritos hasta ahora presentan una aceptable correlación entre las propiedades de flexión de los tejidos y su aspecto visual evaluado subjetivamente, sin embargo no debemos olvidar que todos ellos son ensayos que miden las propiedades bidimensionales de los tejidos y como tales son métodos incapaces de discriminar entre una probeta de papel y otra de tejido que tengan la misma rigidez a la flexión. Este es el principal inconveniente que presenta el intento de caracterizar el cayente de un tejido a partir de sus propiedades bidimensionales.

1.3.2 Drapómetro Cusick

Dadas las limitaciones que representaba la utilización una medida bidimensional como la rigidez a la flexión para estimar el cayente de los tejidos, investigadores del *Fabric Research Laboratories* desarrollaron el "F.R.L. Drapeter" (57). Posteriormente se desarrolló el conocido drapómetro Cusick basado en principios similares (58, 59, 60). Ambos investigadores, sin duda, han contribuido, de forma muy destacada, al avance en la determinación práctica del cayente de los tejidos mediante la medida tridimensional de esta propiedad.

El principio de funcionamiento de este equipo consiste esencialmente en lo siguiente: una probeta circular de tejido se deposita horizontalmente encima de un disco metálico de diámetro inferior a la probeta. La parte del tejido que no descansa sobre este disco rígido vuela libremente en función de su cayente. Justo debajo del centro de la probeta circular se encuentra una bombilla que proyecta un haz de luz hacia abajo. Este haz de luz se proyecta

Capítulo

hacia un espejo cóncavo que devuelve la luz hacia arriba y al interceptar la probeta de tejido circular proyecta la sombra de su cayente sobre un papel anular situado en un plano paralelo al tejido y encima de éste (ver figuras 12-1, 13-1, 14-1, 15-1).

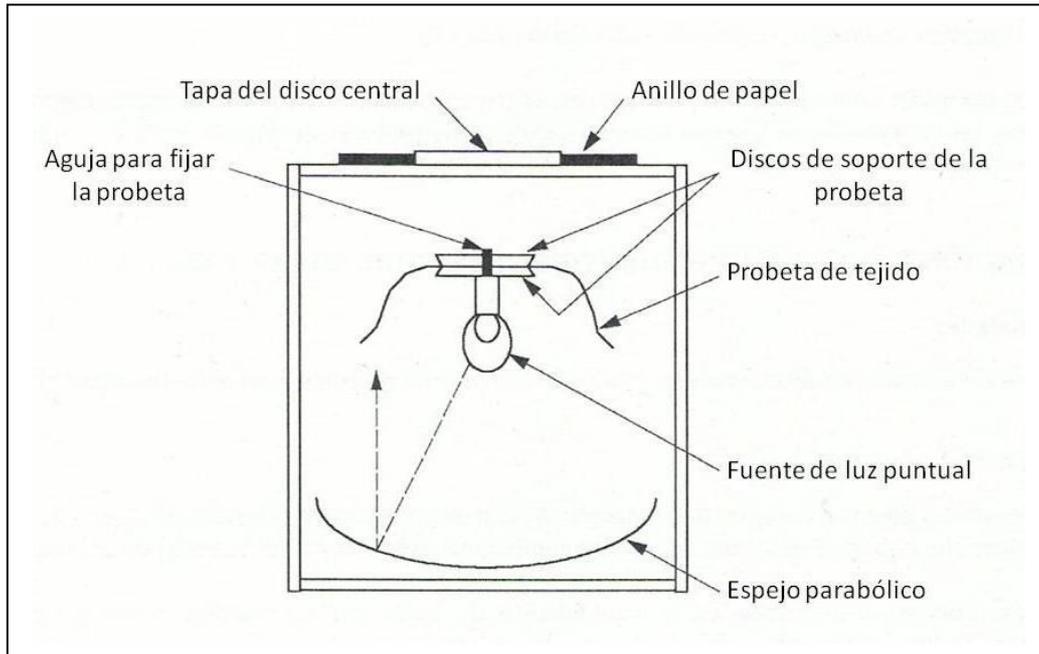


Figura 12-1. Esquema del funcionamiento del drapómetro Cusick (50)

El índice de cayente DR se define como la fracción del área del anillo anular cubierta por la proyección del voleo de la muestra.

$$DR = \frac{\text{Área de la sombra proyectada por la muestra} - \text{Área del disco de soporte}}{\text{Área de la probeta} - \text{Área del disco de soporte}}$$



Figura 13-1.- Vista superior de la versión actual del drapómetro Cusick comercializado por SDL Atlas. Fuente: Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería textil i papeleria de la Universitat Politècnica de Catalunya.

En definitiva una pieza circular del papel, de radio R , se coloca en el centro del aparato. El perímetro de la sombra proyectada del tejido caído se dibuja sobre el papel. A continuación se recorta el papel por la línea marcada anteriormente y se obtiene la zona "A" de la figura 16-1. Esta área de papel se pesa obteniendo W_1 . A continuación se pesan conjuntamente los trozos de papel de las partes "A" y "C", obteniendo el peso W_2 . El DR (drape ratio en inglés) es el cociente entre ambos pesos:

$$DR = \frac{W_1}{W_2}$$



Figura 14-1.- Vista inferior de la versión actual del drapómetro Cusick comercializado por SDL Atlas. Fuente: Laboratorio de Física textil del Departamento de Ingeniería textil i papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya

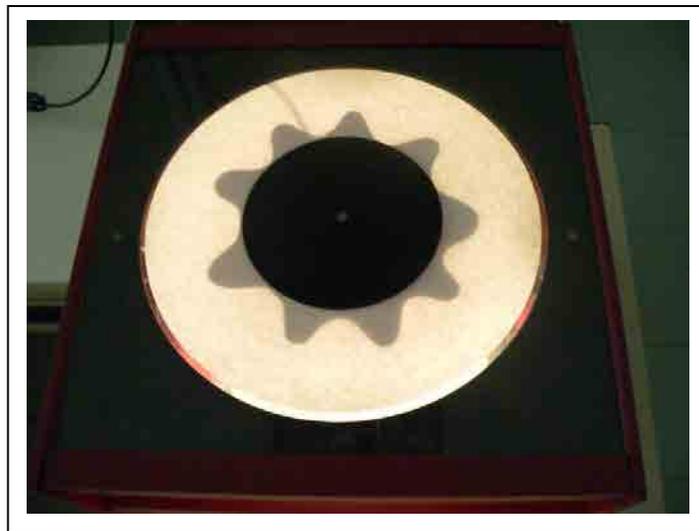


Figura 15-1. Perfil de la sombra proyectada del cayente del tejido en la versión actual del drapómetro Cusick. Fuente: Laboratorio de Física textil del Departamento de Ingeniería textil y papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya

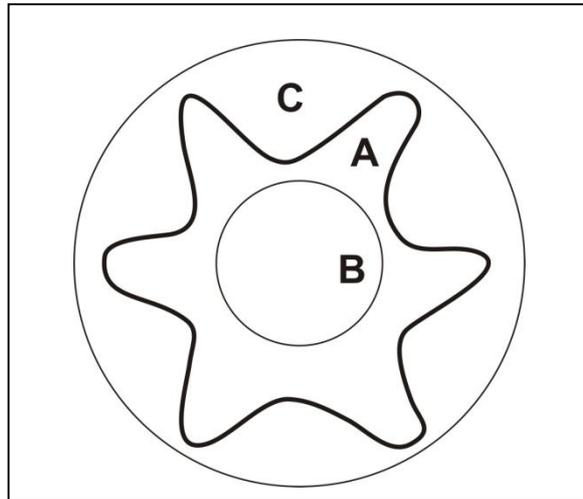


Figura 16-1. Perfil de la sombra proyectada del cayente del tejido en el drapómetro Cusick. La zona "C" corresponde al área de la sombra proyectada por el tejido.

El DR, expresado en % (DR%) nos suministra una descripción objetiva de la deformación del tejido aunque no de una forma totalmente completa. Un índice de cayente bajo nos indica que el tejido se deforma con facilidad mientras que uno de alto indica una baja deformación.

Cusick demostró que el cayente del tejido implica una deformación de éste con una curvatura en más de una dirección y ésta deformación depende tanto de la rigidez a la cizalladura como de la rigidez a la flexión. A partir de ello formuló una ecuación que relacionaba DR% con rigidez a la flexión (medida mediante la longitud del voladizo) y la rigidez a la cizalladura (59).

El método y el equipo utilizado para la evaluación del cayente por parte de Cusick ha sido adoptado por diversos países y agencias de normalización como un estándar para la evaluación de esta propiedad. En Gran Bretaña ha sido adoptado por la norma BS 5058 1973 (Methods for the Assessment of Drape of Fabrics), en Alemania por la norma DIN 54306 (Testing of Textiles for

Determination of the Drape of Textile Fabrics) y en Japón por la norma JIS R 3418 (Textile Glass Fabric Curtains for Casement and Drapery), en España por la norma UNE 40383-1979 (Determinación del cayente de las telas no tejidas) y también por ISO mediante la norma ISO 9073-9 (Textiles -Test methods for nonwovens-, Part 9: Determination of drapability including drape coefficient) (60).

Tanto en la norma BS 5058 1973 como la ISO 9073-9, utilizan un disco de soporte de 18 cm y una probeta circular de 24, 30 ó 36 cm en función del rango del índice de cayente DR%.

1.3.3 Drapómetro mecánico

En el taller de tisaje del Departamento de Ingeniería textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya, se construyó un drapómetro mecánico manual para el estudio del cayente de diversos tipos de tejidos (50), (ver figura 17-1).

El equipo consiste en un disco metálico que lleva una aguja en su centro para colocar correctamente el centro de la probeta de tejido circular de un diámetro superior al disco, el cual está situado sobre una varilla que actúa de pedestal y en la base se dispone un disco graduado. La varilla puede girar libremente sobre su eje, ya sea para aplicar un movimiento de rotación para que el tejido caiga con más naturalidad o bien para facilitar la lectura de los diámetros de las distintas zonas de la muestra caída por medio de dos varillas verticales deslizantes.

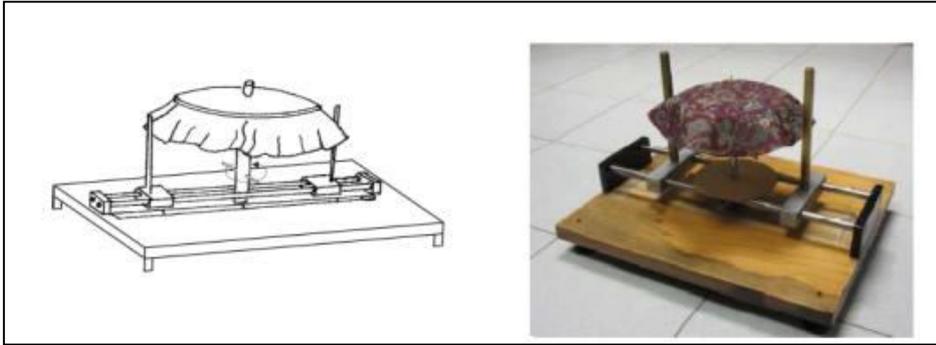


Figura 17-1. Esquema e imagen del drapómetro mecánico manual (50)

Para cada muestra en el medidor se calcula el diámetro medio D a partir de ocho medidas, girando el disco $1/16$ de vuelta. De acuerdo con la geometría de la figura 18-1, el cálculo del coeficiente de caída $DR\%$ se realiza así:

$$DR\% = \frac{\pi R^2 - \pi r^2}{\pi R_0^2 - \pi r^2} \cdot 100 = \frac{R^2 - r^2}{R_0^2 - r^2} \cdot 100 = \frac{D^2 - d^2}{D_0^2 - d^2} \cdot 100$$

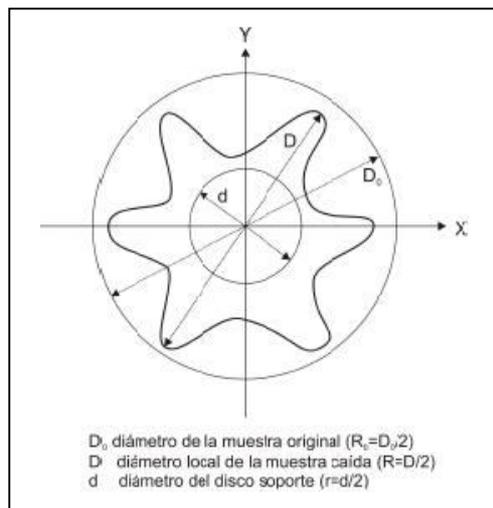


Figura 18-1.-Geometría del drapómetro mecánico manual (50)

1.3.4 Drapómetro SODEMAT

Equipo comercializado por la empresa SODEMAT que sigue la norma francesa NF G07-109 -1980-: “*Essais des étoffes. Méthode de détermination du drapé d’un tissu ou d’un tricot*”. Una probeta circular de 25 cm de diámetro se coloca encima de un disco de soporte de 15 cm de diámetro de tal manera que el tejido sobresaliente cae libremente por acción de su propio peso. El disco de soporte está sujeto al zócalo del aparato mediante un eje. En un extremo del zócalo se encuentra una regla deslizante que dispone de una varilla vertical que actúa de palpador del tejido. La circunferencia del disco de medición está dividida en 16 sectores circulares separados entre sí $22,5^\circ$. En el extremo de cada sector está marcado un punto que permite calcular cada uno de los 16 radios de la proyección vertical del contorno de la probeta con la ayuda del palpador situado encima de la regla graduada deslizante (ver figura 19-1a).

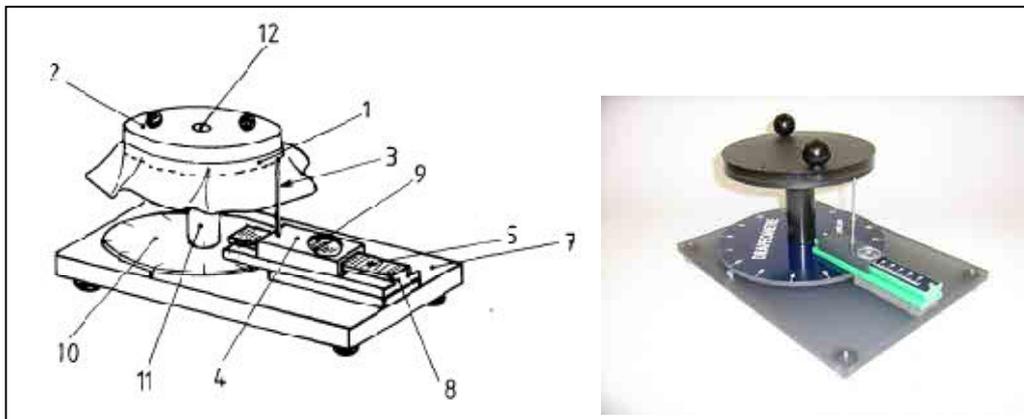


Figura 19-1. Elementos del drapómetro SODEMAT. 1: disco de soporte, 2: disco de fijación, 3: palpador, 4: cursor, 5: regla graduada, 7: zócalo, 8: varilla de deslizamiento, 9: lupa, 10: disco de medida, 11: eje, 12: aguja de centrado

Para la determinación del cayente se calcula el radio medio de la probeta como media aritmética de los 16 radios y se obtiene el coeficiente de cayente F definido por la fórmula:

$$F = \frac{Sc - Si}{St - Si}$$

Siendo Sc : superficie del círculo calculado a partir del radio medio, Si : superficie del disco de soporte de 15 cm de diámetro, St : superficie de la probeta del tejido de 25 cm de diámetro. Es decir:

$$F = \frac{D^2 - 225}{400}$$

1.3.5 Drapómetro fotoeléctrico

En 1988 se desarrolló una versión modificada del drapómetro Cusick. El instrumento utiliza unas células fotoeléctricas situadas en la parte inferior del aparato que determina la cantidad total de luz bloqueada por la proyección de la probeta de tejido que se ha dejado caer libremente de un pedestal. Un indicador digital nos indica la cantidad de luz absorbida por la célula fotovoltaica lo cual está relacionado con el cayente del tejido (62).

1.3.6 Drapómetro Sun

El principio de medida de este equipo es el mismo que el de la medida de la longitud del voladizo. La distancia de un extremo del tejido desde la vertical "x" y la desviación del extremo del tejido desde la horizontal "y", se miden tal como se indica en la figura 20-1. El ángulo de caída, que oscila entre 0° y 90°,

se usa para describir el cayente del tejido. Cuando mayor sea el ángulo de caída, mayor cayente tendrá el tejido y viceversa. La longitud de voladizo y la rigidez a la flexión pueden calcularse a partir del ángulo de caída (63).

La probeta está formada por cuatro tiras de tejido en forma de cruz de tal manera que dos de ellas son paralelas al urdimbre y las otras dos paralelas a la trama. Cada tira rectangular tiene unas medidas de 2,5 x 25 cm. El aparato está formado por un prisma de base cuadrada de 2,5 cm de lado con una longitud suficiente para incorporar y ajustar debidamente las reglas de medición. Cada uno de los lados del prisma lleva incorporada una escala graduada en milímetros y en su extremo superior se colocan sendos cartabones que pueden desplazarse de forma independiente y fácil a lo largo del prisma (figura 21-1).

Se coloca un peso encima de la parte central de la base superior del prisma con el fin de retener la probeta. Los cartabones, que inicialmente se encuentran en el extremo del prisma se deslizan lentamente con el fin de que las tiras de tejido se flexionen por acción de su propio peso. La posición de cada uno de los cuatro cartabones puede modificarse libremente con el fin de adaptarse a los distintos tipos de flexión que muestra cada probeta. Toda esta operación permitirá obtener los valores de "x" y de "y" (ver figura 20-1). De cada probeta se determinará estas medidas por el haz y por el envés.

La determinación del ángulo θ se realiza al cabo de un minuto de que las tiras de tejido se han dejado caer libremente y para ello se determina mediante el $\arctg y/x$ una vez obtenidos los valores de "x" y de "y". La longitud de curvatura se obtiene mediante la ecuación:

$$c = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{8 \operatorname{tg} \theta}}$$

cuando la longitud del voladizo es igual a la longitud de la tira (5 cm).

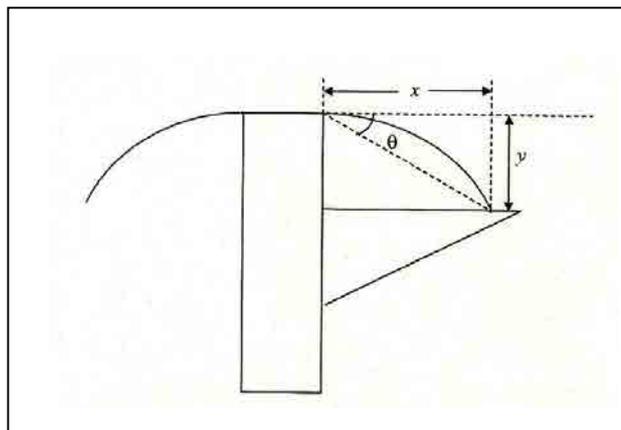


Figura 20-1. Medida del ángulo del caída con el equipo desarrollado por Sun (63)

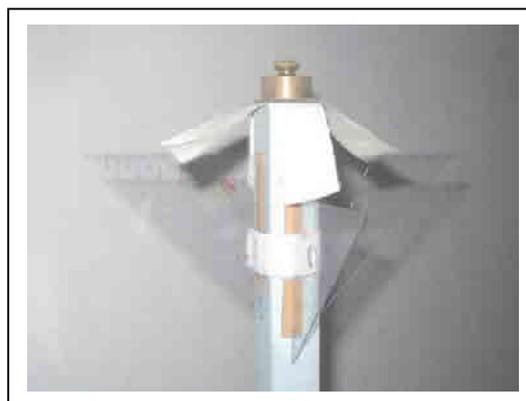


Figura 21-1. Aspecto del medidor de flexión y cayente desarrollado por Sun (63)

Cuando el ángulo de caída se encuentra entre 0° y 16° el tejido cae ligeramente. Cuando el ángulo de caída se encuentra entre $50,1^\circ$ y 75° el cayente del tejido es correcto y cuando se encuentra entre $75,1^\circ$ y 90° es elevado.

En el estudio de (63) se observó una elevada correlación entre la longitud de voladizo determinada al cabo de 1 minuto de colocar las probetas y el mismo parámetro determinado con el Shirley tester y el FAST-2. La correlación es también elevada para el parámetro de rigidez a la flexión.

Cuando la longitud de las tiras es de 5 cm y el área de la tira es conocida (2,5cm x 5 cm) la fórmula de Pierce puede simplificarse. Asimismo cuando el peso de la tira de tejido y el ángulo de caída son conocidos la rigidez a la flexión puede calcularse mediante la fórmula:

$$G = \frac{1,25 \cdot m \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\operatorname{tg} \theta}$$

donde m es el peso, en gramos, de la tira de tejido de $12,5 \text{ cm}^2$ y G la rigidez a la flexión (en $\text{g} \cdot \text{cm}$). Esta ecuación muestra que un incremento de la anchura de la tira no afecta al ángulo de caída si la longitud de la tira es fija. Esto es debido a que la rigidez a la flexión del tejido es el mismo y el efecto del incremento de la anchura de la tira se compensa con el incremento del peso de la tira. Sin embargo un incremento en la longitud de la tira produce un incremento del ángulo de caída.

Sea una nueva tira de longitud $l_1 = nl$, y anchura $d_1 = kd$ y el nuevo peso de la tira $m_1 = nkm$, entonces:

$$G = \frac{m \cdot l^2 \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{8 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \theta_1}$$

donde θ_1 es el nuevo ángulo de caída.

1.3.7 Drapómetro elevador

En 2005 se desarrolló un drapómetro especial para estudiar el proceso de formación del cayente (64). Un pedestal circular se encuentra fijado en una plataforma de apoyo. Una plataforma elevadora paralela a la plataforma de apoyo se desplaza hacia arriba o hacia abajo verticalmente a intervalos de 1 cm por la acción de una manivela de rotación (figura 22-1). Al inicio del ensayo la plataforma elevadora se encuentra al mismo nivel que el plano del pedestal de tal forma que la probeta de tejido -que es de un diámetro mayor que el pedestal- queda en posición horizontal. A continuación se acciona la manivela de rotación con el fin que la plataforma elevadora vaya descendiendo y con ello la parte de la probeta de tejido que sobresale del pedestal empieza a volar por acción de su propio peso. Una cámara digital situada encima del drapómetro permite tomar fotos instantáneas en distintos momentos del ensayo. El índice de cayente se determina mediante la misma fórmula tradicional que para un drapómetro estático Cusick.

La figura 23-1 muestra las proyecciones verticales del cayente de una probeta de tejido de calada de algodón a diferentes niveles de descenso de la plataforma elevadora. A una distancia de 1 cm no se observaron cambios, sin embargo a 2 cm ya empezaron a insinuarse un principio de pliegues. En el intervalo entre 3 y 4 cm de descenso se hicieron evidentes los pliegues. El

cayente se completó más adelante y se estabilizó al nivel de descenso de 6-7 cm.

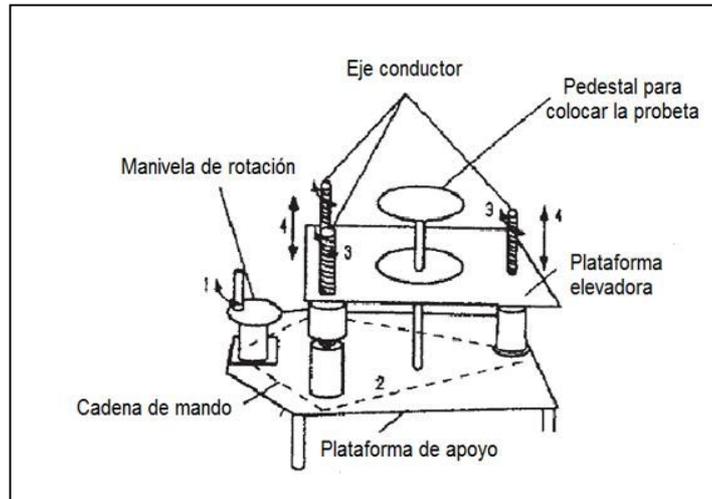


Figura 22-1. Esquema del Drapómetro con elevador (64)

La evolución del índice de cayente DR % en función del nivel de descenso de la plataforma elevadora se muestra en la figura 24-1. El DR% del tejido de lana/poliéster se mantuvo casi constante en todos los niveles. Por otra parte los DR% de los tejidos de lino y algodón son bastante similares entre sí y bastantes distintos que el tejido anterior, mostrando un descenso lineal en el rango de 3 a 5 cm, mientras que es casi constante en el resto de niveles. El resto de tejidos presentan un patrón similar aunque con una pendiente distinta en el rango de 3 a 5 cm.

Los resultados demuestran que el proceso de formación del cayente de los tejidos de calada presenta tres etapas: aparición incipiente de los pliegues en una primera etapa, formación y aumento de los pliegues en una segunda, y una estabilización de los pliegues en la tercera etapa.

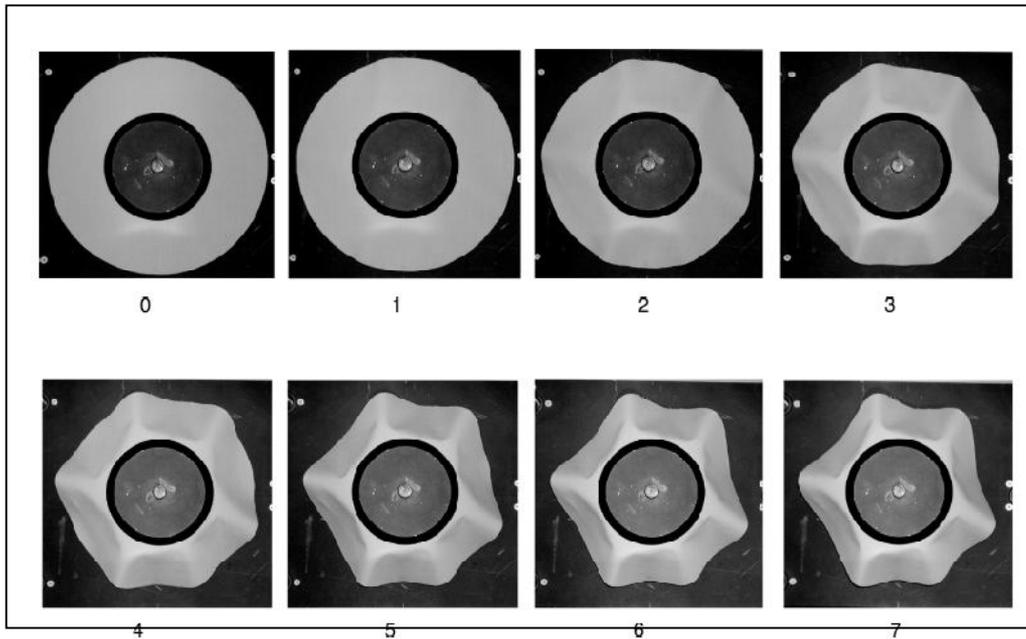


Figura 23-1. Cambio del perfil del cayente de un tejido de caída de algodón mediante el Drapómetro con elevador. El número situado debajo de cada imagen indica los cm que la plataforma elevadora ha bajado respecto a la posición inicial (64)

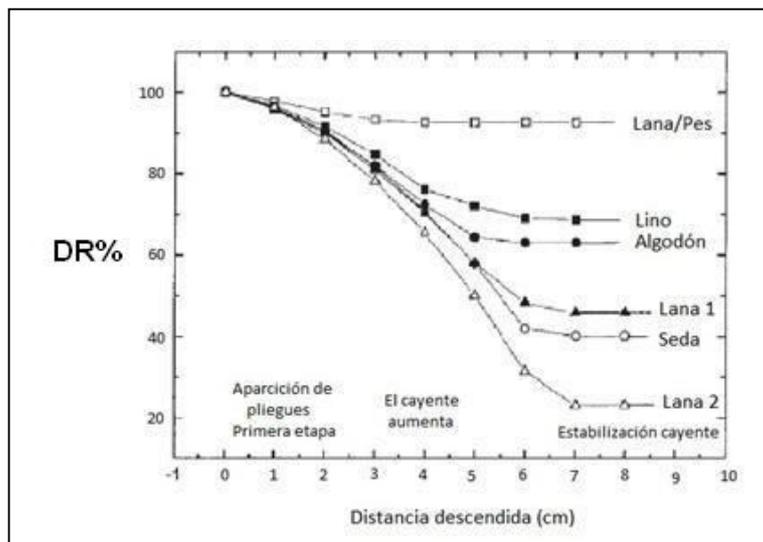


Figura 24-1. Evolución del el índice de cayente DR% a varios niveles de distancia de la plataforma elevadora (64).

La Figura 25-1, muestra los pliegues nodos en las primeras etapas de. En los tejido “lana 2” y “Seda” los pliegues tienden a aparecer en la dirección al bias. Para estudiar la formación de los pliegues se estudió, mediante el equipo Kawabata, la dependencia angular de las propiedades de flexión como rigidez a la flexión (B) y su capacidad de recuperación (2HB), de los tejidos en sentido urdimbre (0°), trama (90°) y al bias (45° y 135°).

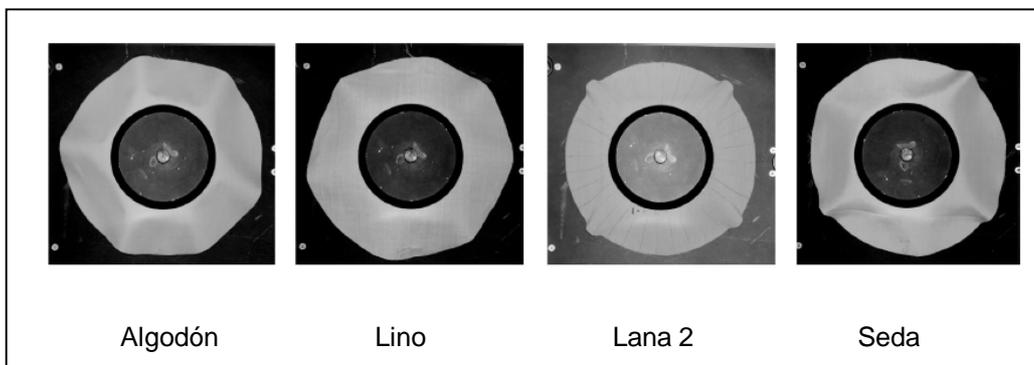


Figura 25-1. Los pliegues aparecen en las primeras etapas del descenso (64).

Los resultados mostraron que los valores de B y 2HB en el sentido bias en todos los tejidos eran algo más pequeños que en sentido urdimbre y trama. Estos resultados indicarían que los pliegues tienden a aparecer en regiones específicas como son las direcciones al bias. En el tejido de algodón el número de pliegues se mantuvo constante en todo el proceso de descenso de la plataforma elevadora. Sin embargo, el tejido “lana 2” presentó un comportamiento muy distinto (ver figura 26-1), en las 3 primeras etapas se formaron 4 pliegues, a partir de la etapa 4 apareció un quinto pliegue y en la etapa final 7 se formó un sexto pliegue. Este comportamiento es atribuido por los autores del estudio, a la relación entre el peso del tejido y sus propiedades de flexión junto con el roce del tejido con la plataforma elevadora.

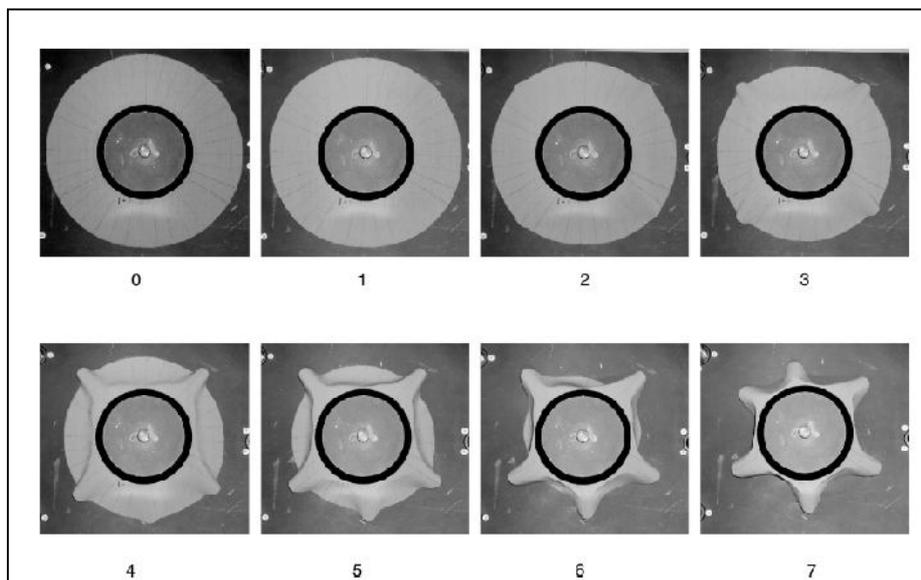


Figura 26-1. Variación del perfil del cayente del tejido de referencia "Lana 2" en función de la altura de la plataforma elevadora. Obsérvese que entre las fases 6 y 7 aparece un nuevo pliegue (64)

1.3.8 Drapómetros digitales

En los últimos veinticinco años se ha producido un notable desarrollo en el área de la medida del cayente de los tejidos debido al uso de las nuevas técnicas de análisis de imagen en este ensayo. La innovación consiste en colocar una cámara digital encima del drapómetro para capturar de la imagen de la sombra proyectada por el cayente del tejido. Esta imagen se envía a un ordenador que la analiza con un software específico (ver figura 27-1).

Se ha demostrado que, con ésta técnica, no existen diferencias significativas entre el índice de cayente DR% calculado por el método tradicional y el método digital (65, 66). Esta técnica digital ha permitido estudiar un fenómeno muy relevante como es la variación del cayente a medida que transcurre el

tiempo de ensayo (66). En este estudio los autores encontraron un decrecimiento exponencial del DR% con el tiempo hasta alcanzar los 300 segundos.

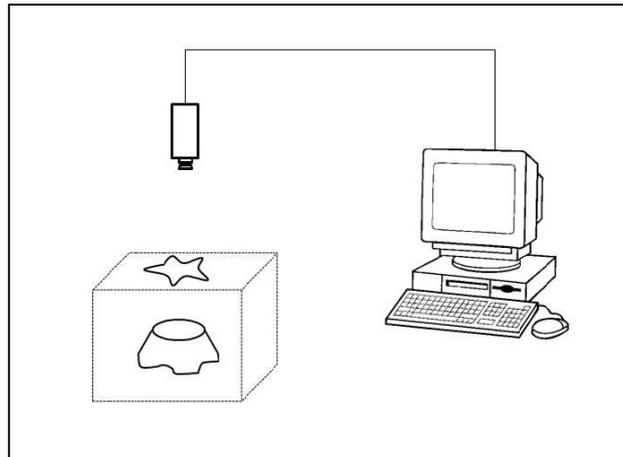


Figura 27-1. Drapómetro digital (66)

Posteriormente otros autores integraron el principio del drapómetro Cusick con las técnicas de análisis de imagen para la medida del DR% tanto estático como dinámico, denominándolo SDDAMS (Static and Dynamic Drape Automatic Measuring System). Con este procedimiento, el DR% se calcula a partir del número de píxeles que ocupa el área proyectada por los tejidos sujetos a su caída (67 y 68).

En ésta misma línea otros autores han utilizado también, con éxito parecido, una cámara digital colocada sobre la vertical de un drapómetro Cusick para capturar la imagen de la sombra proyectada por el cayente del tejido. Este es en la actualidad, el método más utilizado para el estudio del fenómeno del cayente si bien existen pequeñas diferencias entre ellos en función del programa de análisis de imagen utilizado (69 y 70).

1.3.9 Drapómetro $[TC]^2$

En el año 2005, se desarrolló un nuevo sistema de medida del cayente de los tejidos que basado en un escáner corporal tridimensional de la empresa $[TC]^2$ para el estudio de las dimensiones del cuerpo humano (71) (ver figuras 28-1 y 29-1).

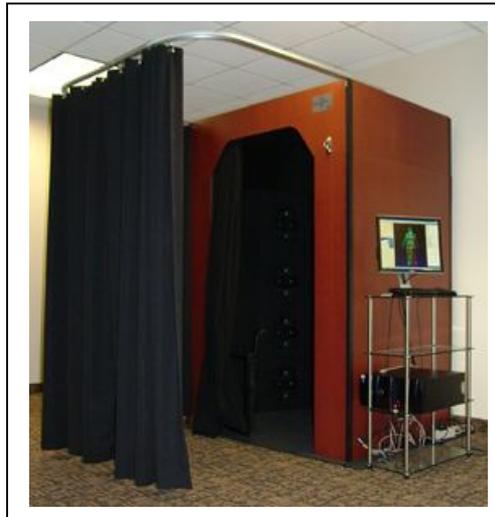


Figura 28-1. Imagen del escáner corporal 3D de la empresa $[TC]^2$ (71)

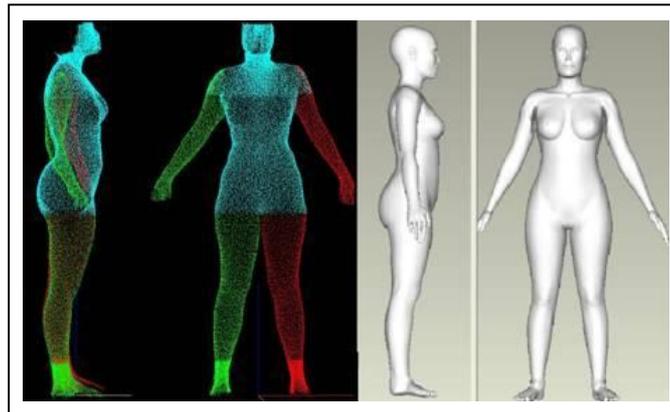


Figura 29-1. Imagen obtenida por el escáner corporal de la empresa $[TC]^2$ (71)

Una probeta circular de tejido se coloca encima de un pedestal también circular de diámetro inferior al de la probeta de manera que el tejido cae libremente por acción de su propio peso de forma similar al drapómetro Cusick. El escáner requiere tan sólo 12 segundos para capturar los datos de la nube de puntos de la muestra de tejido. Esta información se trata mediante el software Geomagic™ que permite generar una representación virtual del objeto escaneado en 3D y calcular el índice de cayente DR% como otros datos típicos del cayente relacionados con la metrología de los pliegues.

El escáner corporal utilizado en esta investigación sólo captura la parte delantera y parte posterior del objeto que está siendo escaneada y, cuando se utiliza para la medida del cuerpo, interpola los lados del cuerpo. Cuando se usa para escanear el cayente de una probeta circular de tejido encima de un pedestal no es suficiente con un solo escaneado para tener una imagen completa por lo que debe realizar dos exploraciones (una de ellas con una rotación de 90 ° respecto a la otra). El software Geomagic™, limpia las imágenes de nubes de puntos con el fin de eliminar cualquier punto que no se encuentran en la superficie lisa del tejido. A continuación se fusionan las imágenes de las dos exploraciones y se obtiene una imagen final en 3D que se utilizará para el cálculo de los indicadores de cayente.

1.3.10 Drapómetro Sylvie Cat System

El sistema de Sylvie Cat System, mide el cayente utilizando un escáner corporal tridimensional (72). Cuatro cámaras fijas se sitúan por encima del soporte de la muestra y realizan fotos de la muestra a diferentes alturas. Los tres puntos de la geometría tridimensional de la muestra se determinan por las curvas estimadas a diferentes alturas. Los datos son procesados por un software específico que puede utilizarse también en simulaciones 3D (73). El

ordenador dibuja la línea de la sombra y en base a las imágenes obtenidas crea una imagen en 3D de la estructura dada, que puede girar en varias direcciones.

1.4. Problemática de la evaluación del cayente

1.4.1 Influencia del tamaño de la probeta en el número de pliegues

El número de pliegues que adopta la probeta de tejido cuando se la deja caer libremente en un drapómetro tipo Cusick depende de muchos factores relacionados con las características intrínsecas del propio tejido pero también las condiciones del ensayo también influyen en ello. En este sentido, se ha demostrado que la relación entre el diámetro de la probeta del tejido y el diámetro del disco de soporte de la probeta del tejido influye de forma determinante en el número de pliegues que adopta el tejido sometido a este ensayo (23). Cusick confirmó este principio de forma experimental durante la elaboración de su tesis doctoral sobre el cayente de los tejidos con el drapómetro que lleva su nombre (74).

1.4.2 Repetibilidad de los ensayos

Una de las dificultades que presenta el estudio del cayente es que los tejidos no caen siempre de la misma forma cada vez que repetimos el ensayo. Este problema dificulta mucho cualquier intento de simular virtualmente esta propiedad a partir de las propiedades estructurales de los tejidos y de sus propiedades físico-mecánicas.

Esta problemática fue estudiada detalladamente en el año 2003 y a tal efecto se midió el cayente de 14 tejidos de calada distintos mediante un drapómetro Cusick y un escáner 3D. Las probetas tenían un diámetro de 36 cm y el pedestal de 18 cm. El cayente fue medido 12 veces (6 por el haz y 6 por el envés), analizándose el índice de cayente DR%, número de pliegues, altura de los pliegues, anchura de los pliegues y longitud de los pliegues desde el centro de la probeta. Los resultados muestran una notable variabilidad entre mediciones (75). Este tipo de problemática se ha de tener muy presente cuando se planifique un plan de ensayos para la determinación del cayente de cualquier tejido

1.4.3 Variación del cayente con el tiempo

El perfil del cayente varía con el tiempo dado que el gramaje del tejido influye de forma muy notable en su deformación y en definitiva en su cayente. Este fenómeno lo podemos observar por ejemplo en la variación del cayente que presentan las prendas cuando llevan un cierto tiempo puestas en un maniquí, en las cortinas o bien en los manteles.

Esta problemática fue identificada ya desde los primeros estudios sobre el cayente de los tejidos en el año 1950 (53), sin embargo no se siguió avanzando en ello. Desde entonces hasta el año 2007 se habían realizado muy pocos estudios sobre la influencia del tiempo en los indicadores del cayente. El primero de los pocos estudios realizados habían considerado solamente periodos cortos de tiempo no superior a los 10 minutos, concluyendo que índice de cayente DR% disminuía exponencialmente con el tiempo (65 y 66). Con el fin de conocer mejor este fenómeno en el año 2007, se estudiaron los cambios en el índice de cayente DR%, número de pliegues,

amplitud de los pliegues, amplitud máxima y mínima de los pliegues una vez transcurridas 2, 4, 6 y 24 horas después de la primera medida, tanto en probetas de 30 como de 36 cm de diámetro, observándose una notable disminución del DR% con el tiempo en diferentes tejidos de calada, tanto en probetas de 30 cm de diámetro como de 36 cm (76).

1.5 Objetivos generales de la tesis

El autor de esta tesis ha dedicado una gran parte de su carrera docente a la impartición de asignaturas de introducción a la hilatura y el tisaje, materiales textiles -en particular, sus propiedades físicas- y en los últimos 15 años ha sido el responsable de la asignatura de grado “Confeccionabilidad de prendas de vestir”, es decir, el estudio de aquellas propiedades físico-mecánicas de los tejidos que contribuyen a facilitar o dificultar su transformación en prenda de vestir durante el proceso de confección industrial.

En los años 90 del siglo XX tuvo ocasión de colaborar con el profesor Arun Naik del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la UPC, en la participación de un proyecto SPRINT realizado en el Instituto e Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Terrassa (INTEXTER) donde se evaluaban las propiedades físicas de los tejidos de lana obtenidos mediante tres sistemas de hilatura de lana distintos. En dicho proyecto tuvo ocasión de entrar en contacto con las técnicas de medición objetiva de tejidos y en particular de los métodos FAST y Kawabata. El fruto de esta experiencia fue la publicación en el año 1996 del libro docente “Medición objetiva de tejidos” que realizó conjuntamente con el profesor Naik (25). Desde entonces el autor de esta tesis ha mostrado un gran interés por la medición de la mano, el cayente y el confort de los tejidos por ser propiedades, éstas, en las que la

subjetividad tiene un componente muy importante en su evaluación y en las que durante los últimos años, la ingeniería textil está realizando grandes esfuerzos para objetivar su evaluación.

La adquisición en el año 2010 de un drapómetro Cusick en el laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería textil y papelera de la UPC fue un factor determinante para que orientara mi tesis doctoral al estudio del cayente de los tejidos.

Tal como se ha explicado en este capítulo, el cayente se ha determinado tradicionalmente mediante el drapómetro Cusick el cual permite obtener el llamado “índice de cayente DR%” que se trata de un indicador muy útil pero que sin embargo presenta limitaciones importantes. La principal limitación del DR% es que no es capaz de explicar suficientemente la forma del cayente, hasta el punto que dos tejidos con el mismo DR% pueden presentar formas de cayente muy distintas. Desde que se desarrolló este equipo en el año 1962, diversos autores han propuesto una gran cantidad de indicadores alternativos y/o complementarios, sin embargo hacía falta revisar todas propuestas realizadas y seleccionar aquellas que mejor contribuyen a explicar el complejo fenómeno del cayente.

Por todo ello los objetivos generales de esta tesis son:

- a) *Realizar una recopilación y revisión de los indicadores de cayente publicados hasta la fecha.*

- b) *Desarrollar una digitalización del drapómetro Cusick que permita obtener información rápida y precisa sobre la geometría del cayente, mediante un software de análisis de imagen.*

- c) *Calcular todos los indicadores de cayente propuestos hasta la fecha para un conjunto de tejidos de calada comerciales de un amplio espectro de composiciones, gramajes y ligamentos con el fin de proponer aquel indicador, combinación o secuencia de ellos, que mejor explique tanto la intensidad como la forma del cayente en los tejidos de calada.*
- d) *Proponer un método de ensayo sencillo, económico y alternativo a los sistemas Cusick, FAST y Kawabata, que permita deducir, a nivel industrial, la información básica sobre el cayente y la mano de los tejidos de calada, de tal forma que pueda ser usado para el control rutinario del proceso de acabado.*
- e) *Relacionar el cayente con los sistemas de evaluación objetiva de tejidos.*

1.6. Objetivos específicos

Una vez se han descrito los objetivos generales de la tesis, en este apartado se describen los objetivos específicos derivados de los anteriores.

- a) realizar una revisión bibliográfica de los principales indicadores de cayente propuestos por los investigadores de éste fenómeno, desde su inicio en 1962 hasta la actualidad en 2013.
- b) unificar el lenguaje utilizado por los diferentes autores para describir los parámetros utilizados para el cálculo de los diferentes indicadores de cayente.
- c) describir de forma clara y detallada, los principios geométricos y numéricos utilizados para la obtención y cálculo de los diferentes indicadores propuestos hasta la fecha.

- d) realizar un programa informático que permita explotar la información recogida por el drapómetro digital desarrollado en esta tesis y calcular los parámetros de la geometría del cayente.
- e) explicar cómo varía la forma del cayente en la medida que lo hace también la intensidad de cada indicador estudiado.
- f) realizar los programas informáticos necesarios para calcular los indicadores de cayente basados en la transformada de Fourier del perfil de la curva del cayente, a partir de la información obtenida en el drapómetro digital desarrollado
- g) realizar un programa informático que permita calcular la dimensión fractal del cayente de un tejido mediante el método "Box-counting" a partir de la información obtenida en el drapómetro digital desarrollado.
- h) determinar la efectividad del método Box counting como alternativa al DR%.
- i) proponer un número mínimo de indicadores relevantes e "independientes" (que no estén fuertemente correlacionados entre sí) que permitan determinar o deducir la forma del cayente.
- j) desarrollar una adaptación muy simple y universal del ensayo del anillo con el fin que pueda ser aplicada fácilmente por la industria textil en un dinamómetro convencional y obtener a través de éste ensayo información suficientemente significativa y relevante sobre algunos aspectos básicos de la mano, confeccionabilidad y cayente de los tejidos que permita substituir, parcialmente los equipos de evaluación indirecta de la mano utilizados hasta ahora y que resultan sofisticados, lentos y caros.
- k) determinar las relaciones existentes entre los indicadores de cayente de una muestra de tejidos comerciales de calada, medidas con un

drapómetro digital y las obtenidas con una variante del método del anillo diseñada por los autores.

- l) determinar las relaciones existentes entre las propiedades físico-mecánicas de una muestra de tejidos de calada comerciales medidas con el equipo FAST y las obtenidas con una variante del método del anillo diseñada por los autores.
- m) determinar las relaciones existentes entre las propiedades físico-mecánicas de una muestra de tejidos de calada comerciales medidas con el equipo KAWABATA y las obtenidas con una variante del método del anillo diseñada por los autores.
- n) realizar un caso de estudio para determinar si los indicadores de cayente propuestos en esta tesis son sensibles a las variaciones del proceso de acabado “silk-like” para un tejido de poliéster 100%.

1.7 Bibliografía

(1). Pierce, F. T. The Handle of Cloth as a Measurable Quantity. *Journal of the Textile Institute*, 1930, vol. 21, pp. 377-419.

(2). Artespaña. *Venus Helenística*. Artespaña: <http://www.artespana.com/imagenes/venushelenistica.jpg>. Consultado el 21-04-2010.

(3). Wikipedia. *Auriga De Delfos*. Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Auriga_de_delfos. Consultado el 21-04-2010

(4). Institute of draped clothes. *JDC Web Library*. Institute of draped clothes. 2010. <http://www.idcw.org.uk/weblibrary.html>. Consultado el 21-04-2010.

(5). WordPress Blog. *Enigmas Históricas. Las Endemoniadas De Loudun*. Blog de WordPress.com. <http://oscarherradon.wordpress.com/2009/06/16/>. Consultado el 21-04-2010

- (6). China Radio International. *Crienglish.Com*. China Radio Internarional. 2010. <http://english.cri.cn/3126/2007/04/02/1042@211825.htm>. Consultado el 21-04-2010
- (7). Disney. *Disney Home Page*. 2010. <http://home.disney.es/index>. Consultado el 21-04-2010.
- (8). TM & Lucasfilm Ltd. *Star Wars Home Page*. TM & Lucasfilm Ltd. 2010. <http://www.starwars.com/>. Consultado el 21-04-2010.
- (9). Hearle, J. W. S.; Amirbayat, J. Anyalysis of Drape by Means of Dimensionless Groups. *Textile Research Journal*, 1986, vol. 56, no. 12, pp. 727-733.
- (10). Chen, B. J.; Govindaraj, M. A Physically-Based Model of Fabric Drape using Flexible Shell Theory. *Textile Research Journal*, 1995, vol. 65, no. 6, pp. 324-330.
- (11). Chen, B.; Govindaraj, M. A Parametric Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, no. 1, pp. 17-24.
- (12). Collier, J. R., Collier, B.; O'Toole, G.; Sargand, S. Drape Prediction using Finite Element Analysis. *Journal of Textile Institute*, 1991b, vol. 82, pp. 96-107.
- (13). Fisher, P., Krzywinski, H.; Rodel, A.S.; Ulbright, V.. Simulating the Drape Behavior of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1999, vol. 69, no. 5, pp. 331-334.
- (14). Gan, L.; Ly, N. G.; Steven, G. P. A Study of Fabric Deformation using Nonlinear Finite-Elements. *Textile Research Journal*, 1995, vol. 65, no. 11, pp. 660-668.
- (15). Lo, W. M.; Hu, J. L.; Li, L. K. Modelling a Fabric Drape Profile. *Textile Research Journal*, 2002, vol. 72, no. 5, pp. 454-463.
- (16). Postle, J. R.; Postle, R. The Dynamics of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 1999, vol. 69, no. 9, pp. 623-629.
- (17). Stylios, G.; Wan, T. R. Modelling the Dynamic Drape of Fabrics on Sybthetic Humans: A Physical, Lumped-Parameter Model. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, vol. 7, no. 5, pp. 10-25.

- (18). Stylios, G.; Wan, T. R. A New Collision Detection Algorithm for Garment Animation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1998, vol. 10, no. 1, pp. 38-49.
- (19). Chen, B.; Govindaraj, M. A Parametric Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, no. 1, pp. 17-24.
- (20). Stump, D. M.; Fraser, W. B. A Simplified Model of Fabric Drape Based on Ring Theory. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, no. 8, pp. 506-514.
- (21). Pierce, F. T. Geometry of Cloth Structure. *Journal of Textile Institute*, 1937, vol. 28.
- (22). Postle, J. R. The Mechanics of Woven and Knitted Fabric. *Textile Asia*, 1998, vol. 29, no. 8, pp. 35-36.
- (23). Hearle, J. W. S.; Grosberg, P.; Backer, S. *Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics*. . Wiley Interscience ed., New York: Wiley Interscience, 1969.
- (24). Hearle, J. W. S.; Thwaites, J. J.; Amirbayat, J. *Mechanics of Flexible Fiber Assemblies*. NATO Advanced Study Institute Series: E, Applied Sciences. Nº 38 ed. The Netherlands: Sijthoff & Noordhoff, Alpen aan den Rijn, 1980.
- (25). Naik, A.; Carrera, E. *Medición Objetiva De Tejidos*. . A.N & E.C. ed., Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1996. ISBN 84-605-4953-4.
- (26). Kawabata, S. *Standardization and Analysis of Hand Evaluation*. . The Textile Machinery Society of Japan ed., 2nd ed. Osaka: The Textile Machinery Society of Japan, 1980.
- (27). Hearle, J. W. S.; Konopasek, M.; Newton, A. On some General Features of a Computer-Based System for Calculation of the Mechanics of Textiles Structures. *Textile Research Journal*, 1972, vol. 10, pp. 613-626.
- (28). Hu, J. L.; Teng, J. G. Computational Fabric Mechanics: Present Status and Future Trends. *Finite Elements in Analysis and Design*, 1996, vol. 21, pp. 225-237.

- (29). Konopasek, M. *Procedures for Calculating the Mechanical Properties of Textile Structures*. University of Manchester. Institute of Science and Technology, 1972.
- (30). Brown, P. R. III; Buchanan, D. R.; Clapp, T. G. Large Deflection Bending of Woven Fabric for Automated Material-Handling. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, pp. 1-14.
- (31). Lloyd, D. W.; Hearle, J. W. S.; Thwaites, J. J.; Amirbayat, J. eds., *Mechanics of Flexible Fiber Assemblies*. NATO Sciences Series E. Springer, 1980. ISBN-10: 902860720X
- (32). Kim, J. H. *Fabric Mechanic Analysis using Large Deformation Orthotropic Shell Theory*. North Carolina State University, 1991.
- (33). Hu, J. L. *Structure and Low-Stress Mechanics of Woven Fabrics*. The Textile Institute. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 1994.
- (34). Grosberg, P.; Kedia, S. The Mechanical Properties of Woven Fabrics. Part 1: The Initial Load-Extension Modulus of Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, 1966, vol. 38, pp. 71-79.
- (35). Anandjiwala, R. D. *Large Scale Extension of Woven Fabrics*. University of Leeds, 1984.
- (36). Postle, R.; Carnby, G. A.; Jong, S. *The Mechanics of Wool Structures*. United Kingdom: Ellis Horwood Ltd, 1988. ISBN 146132.
- (37). Hearle, J. W. S.; Shanahan, W. J. A Energy Method for Calculations in Fabric Mechanics. Part 1: Principles of the Method. *Journal of Textile Institute*, 1978, vol. 69, pp. 81-91.
- (38). Shanahan, W. J.; Hearle, J. W. S. A Energy Method for Calculations in Fabric Mechanics. Part 2: Examples of Application of the Method To Woven Fabrics. *Journal of Textile Institute*, 1978, vol. 69, pp. 92-100.
- (39). Ghosh, T. K.; Bartra, S. K.; Barker, R. L. Bending Behaviour of Plain Woven Fabrics: A Critical Review. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, pp. 245-287.
- (40). Leech, C. M.; Abood, S. M. *Modelling of the Dynamics of Woven Constructions*. New York ed. ASME, 1991.

- (41). Weil, J. The Synthesis of Cloth Objects. *ACT SIGGRAPH Computer Graphics*, 1986, vol. 20, no. 4, pp. 49-54. ISSN 0097-8930.
- (42). Van West, R. B.; Pipesl, R. B.; Keefe, M. A Simulation of the Draping of Bidirectional Fabrics Over Arbitrary Surfaces. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, no. 4, pp. 448-460.
- (43). Breen, D. E.; House, D. H.; Wozny, M. J. A Particle Based-Model for Simulating the Drape Behaviour of Woven Cloth. *Textile Research Journal*, 1994, vol. 64, no. 11, pp. 663-685.
- (44). Sidabraitė, V.; Masteikaite, V. Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour. *Materials Science*, 2003, vol. 9, no. 1, pp. 111-115.
- (45). Go, Y.; Shinohara, A.; Matsushashi, F. Viscoelastic Studies of Textile Fabrics. Part 6: Anisotropy of the Stiffness of Textile Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1958, vol. 14, pp. 170-174.
- (46). Go, Y.; Shinohara, A. Anisotropy of the Crease Recovery of Textile Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1962, vol. 8, pp. 33-38.
- (47). Cooper, D. N. E. The Stiffness of Woven Textiles. *Journal of Textile Institute*, 1960, vol. 51, no. 8, pp. 317-335.
- (48). Shinohara, H, A.; Shinohara, F.; Sakaebara, K. Theoretical Study on Anisotropy of Bending Rigidity of Woven Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1980, vol. 26, pp. 75-79.
- (49). Kenkare, N.; May-Plumlee, T. Evaluation of Drape Characteristics in Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2005a, vol. 17, no. 2, pp. 109-123.
- (50). Capdevila, X.; Comas, R.; Parés, F. Evaluación del Cayente de los tejidos: métodos y métrica. *Revista de la Industria Textil*, 2009, vol. 471, pp. 31-44.
- (51). Booth, J. E. *Principles of Textile Testing*. . Heywood book temple press books ed., London, 1964.
- (52). Abbott, N. J. The Measurement of Stiffness in Textile Fabrics. *Textile Research Journal*, 1951, vol. 21, pp. 435-444.

(53). Kalyanaraman, A. R.; Siveramakrishnan, A. Electronic Fabrics Stiffness Meter Performance Evaluation with the Know Instruments. *Textile Research Journal*, 1984, vol. 54, no. 7, pp. 479-484.

(54). De Boos, A. G. Optimisation of Wool Fabric Finishing using FAST. *Colourage*, 1993, vol. 40, no. 1, pp. 41-47.

(55). Clapp, T. G., Peng, H.; Ghosh, T.K.; Eischen, J.W. Indirect Measurement of the Moment-Curvature Relationship for Fabrics. *Textile Research Journal*, 1990, vol. 60, no. 9, pp. 525-533.

(56). Rusell, S. J. Alternative Instrument for the Measurement of Fabric Bending Length, (Univ. of Leeds); (Letter to Editor). *Journal of Textile Institute*, 1994, vol. 85, no. 1, pp. 82-83.

(57). Chu, C. C.; Cummings, C. L.; Teixeira, N. A. Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Part V: A Study of the Factors Affecting the Drape of Fabrics. The Development of a Drape Meter. *Textile Research Journal*, 1950, vol. 20, pp. 539-548.

(58). Cusick, G. E. The Resistance of Fabrics to Shearing Forces. *Journal of Textile Institute*, 1961, vol. 52, pp. 395-406.

(59). Cusick, G. E. The Dependence of Fabric Drape on Bending and Shear Stiffness. *Journal of the Textile Institute*, 1965, vol. 56, no. 11, pp. 596-606.

(60). Cusick, G. E. The Measurement of Fabric Drape. *Journal of the Textile Institute*, 1968, vol. 59, no. 6, pp. 253-260.

(61). NF G07-109. Norme française. *Textiles. Essais des étoffes. Méthode de détermination du drapé d'un tissu ou d'un tricot*. 1980.

(62). Collier B.J. Measurement of fabric drape and its relation to fabric mechanical properties and subjective evaluation. *CTRJ*. 1991; 10(1): 46-52.

(63). Sun, M. N. A New Tester and Method for Measuring Fabric Stiffness and Drape. *Textile Research Journal*, 2008, vol. 78, no. 9, pp. 761-770.

(64). Mizutani, C.; Amano, T.; Sakaguchi, Y. A New Apparatus for the Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75, no. 1, pp. 81-87.

- (65). Jeong, Y. J. A Study of Fabric-Drape Behaviour with Image Analysis Part I: Measurement, Characterisation, and Instability. *Journal of the Textile Institute*, 1998, vol. 89, no. 1, pp. 59-69.
- (66). Vangheluwe, L.; Kiejens, P. Time Dependence of the Drape Coefficient of Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1993, vol. 5, no. 5, pp. 5-8.
- (67). Ruckman, J. E.; Cheng, K. B.; Murray, R. Dynamic Drape Measuring System. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1998, vol. 10, no. 6, pp. 56.
- (68). Robson, D.; Long, C. C. Drape Analysis using Image Techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2000, vol. 18, no. 1, pp. 1-8.
- (69). Kenkare, N.; May-Plumlee, T. Fabric Drape Measurement: A Modified Method using Digital Image Processing. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 2005b, vol. 4, no. 3, pp. 141-148.
- (70). Behera, B. K.; Pattanayak, A. K. Measurement and Modelling of Drape using Digital Image Processing. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2008, vol. 33, pp. 230-238.
- (71). Kenkare, N. *Three Dimensional Modeling of Garment Drape*. North Carolina State University, 2005. <http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-01062006-153144/unrestricted/etd.pdf>. Consultado el 26-04-2010
- (72). Kuzima, J.; Tamás, P.; Halász, M. *Image-Based Cloth Capture and Cloth Simulation used for Estimating Cloth Drape Parameters*. Portoroz, Slovenia ed., 2005. ISBN 86-435-0709-1.
- (73). Tamás, P.; Gersak, J.; Halász, M. Sylvie 3D Drape Tester. New System for Measuring Fabric Drape. *TEKSTIL*, 2006, vol. 10, pp. 497-502. ISSN 0492-5882.
- (74). Cusick, G. E. *A Study of Fabric Drape*. University of Manchester. Tesis Doctoral, 1962.
- (75). Pandurangan, P. *Mechanics of Fabric Drape*. Master of Science ed. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. North Carolina State University., 2003.

Capítulo

(76). Lojen, D. Z.; Jevsnik, S. Some Aspects of Fabric Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2007, vol. 15, no. 4, pp. 39-45.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

INDICE	página
1 Tejidos analizados	2-2
2 Métodos	2-8
2.1 Introducción	2-8
2.2 Ensayo del cayente mediante el drapómetro digital UPC	2-9
2.2.1 Aproximación conceptual al estudio del cayente	2-20
2.3 Método de ensayo FAST	2-44
2.3.1 Introducción	2-44
2.3.2 FAST-1	2-44
2.3.3 FAST-2	2-47
2.3.4 FAST-3	2-49
2.3.5 FAST-4	2-52
2.3.6 Representación gráfica de los resultados FAST	2-54
2.3.7 Preparación de las probetas	2-57
2.4 Métodos de ensayo KES-F	2-57

	página
2.4.1 Introducción	2-57
2.4.2 Medición de las propiedades mecánicas del tejido	2-62
2.4.3 Tracción	2-65
2.4.4 Flexión	2-68
2.4.5 Cizalladura	2-71
2.4.6 Compresión	2-73
2.4.7 Superficie	2-75
2.4.8 Grosor y gramaje	2-79
2.4.9 Muestreo realizado	2-79
2.4.10 Relación entre parámetros objetivos y subjetivos	2-80
2.5 Ensayo anillo-UPC	2-80
2.5.1 El método del anillos y sus diversas evoluciones	2-80
2.5.2 El método anillo-UPC	2-84
3. Métodos numéricos utilizados	2-89
4. Bibliografía	2-90

Capítulo 2

MATERIALES Y METODOS

RESUMEN

En este capítulo se describen las principales propiedades estructurales de los tejidos de calada utilizados en esta tesis.

Se describen, asimismo, de forma detallada, los métodos de ensayo utilizados como son:

- a) Drapómetro digital-UPC: Adaptación propia del drapómetro Cusick mediante la incorporación de una cámara CCD y un software específico de análisis de imagen
- b) Equipo FAST
- c) Equipo KAWABATA
- d) Ensayo del anillo-UPC: Adaptación propia del ensayo del anillo para su aplicación a nivel industrial de forma sencilla y económica.

Así como la relación de los métodos numéricos utilizados.

1. Tejidos analizados

Los tejidos analizados en esta tesis pueden dividirse en dos grupos. El primero, que constituye la parte central de la tesis, está formado por 43 tejidos comerciales de calada de diversas composiciones y ligamentos, que se ha utilizado para determinar los diversos indicadores e índices relacionados con el cayente así como los ensayos FAST (1), KES-F (2) y anillo-UPC (3). Alguno de ellos han presentado dificultades en partes de los ensayos debido a sus características particulares como una baja rigidez a la flexión, bajo cayente o bien una extrema suavidad superficial que ha dificultado el estudio de alguna de sus propiedades. Ello explica el motivo por el cual no se ha analizado el mismo número exacto de tejidos en todos los ensayos (ver tabla 1-2).

El segundo grupo está formado por un único tejido de calada de poliéster 100% que se ha sometido a un proceso de acabado “silk-like” en 9 condiciones diferentes de ajuste del proceso con el fin de estudiar si el cayente del tejido es sensible a las variaciones de éste proceso de acabado. Mientras que los del primer grupo son descritos a continuación, el segundo es descrito detalladamente en el capítulo 8 dado que se trata de un caso de estudio y no constituye el núcleo central de la tesis.

Referencia	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	KES-F	Anillo- UPC
1	WO/PAN 60/40	Doble tela	447,41				
2	PES/CV/EA 64/31/5	Doble tela	371,45				
3	PES/CV/EA 78/18/4	Sarga	341,33				
4	WO/PA 90/10	Doble tela	333,26				
5	CO/WO/PA 76/19/5	Tela a 2 caras	309,14				
6	WO 100%	Raso	299,41				
7	PES/CV/EA 78/17/5	Sarga	279,08				
8	CO 100%	Sarga	257,33				
9	CO 100%	Esterilla	241,16				
10	WO/EA 99/1	Crep	232,16				

Capítulo 2

Referencia	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	KES-F	Anillo-UPC
11	PES/CV/EA 65/31/4	Tafetán	221,17				
12	CO 100%	Espiguilla	214				
13	WO 100%	Sarga	209				
14	WO/PES 60/40	Espiguilla	199,08				
15	WO 100%	Sarga	191,08				
16	LI 100%	Tafetán	186,9				
17	CO 100%	Tafetán	179,25				
18	CO/LI 64/36	Jacquard	174,31				
19	PES 100%	Tafetán	172,622				
20	CV/WO/PES 43/34/24	Tafetán	171,25				

Referencia	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	KES-F	Anillo-UPC
21	CO 100%	Sarga	169,5				
22	PES/LI 55/45	Sarga	163,58				
23	LI/WO/PES 53/21/26	Tafetán	161				
24	WO/LI/CO/PA 36/32/16/16	Sarga	157,71				
25	CO/PES 65/35	Espiguilla	135,17				
26	CO/LI 43/57	Tafetán	100				
27	CO/PES 65/35	Tafetán	90				
28	PES 100%	Raso	90			*	
29	PES/CV 60/40	Raso	90				
30	CV/CA 55/45	Sarga	80				

Capítulo 2

Referencia	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	KES-F	Anillo-UPC
31	PES 100%	Raso	78,4			*	
32	CV/PES 50/50	Jacquard	77,5				
33	PES 100%	Sarga	76,5			*	
34	CV 100%	Sarga	72				
35	CV 100%	Tafetán	70				
36	CV/PES 60/40	Sarga	70				
37	CV/PES 60/40	Sarga	68,5				
38	CA 100%	Tafetán	68				
39	PES/CV 50/50	Tafetán	65				
40	PES/CV 50/50	Sarga	65				

Referencia	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	KES-F	Anillo-UPC
41	PES 100%	Tafetán	62				
42	PES 100%	Granito	59			*	
43	PES 100%	Tafetán	50			*	

Tabla 1-2. Características de los tejidos analizados para el estudio de los índices e indicadores de cayente, ordenados por orden decreciente de gramaje, con indicación de los análisis realizados en cada tejido. El recuadro tramado indica que se ha realizado aquel ensayo mientras que el recuadro en blanco indica que no se ha realizado. La casillas en blanco y con asterisco (*) del ensayo KES-F, indican que se ha realizado un ensayo completo excepto el análisis de superficie.

Referencia	Composición	Ligamento	Gramaje g/m ²	Drapómetro digital UPC	FAST	Dinamometría
44	PES 100 %	Raso	260,542			

Tabla 2-2. Características del tejido en crudo analizado para el estudio de la sensibilidad del cayente a las variaciones del proceso de acabado "silk-like"

2 Métodos

2.1 Introducción

Durante la realización de ésta tesis, los tejidos estudiados, se han analizado en distintos laboratorios mediante diferentes métodos de ensayo.

Para la determinación del cayente se ha utilizado un drapómetro convencional Cusick que ha sido modificado específicamente para esta tesis con el fin de ampliar y mejorar su capacidad de medición de los distintos índices e indicadores de cayente. El equipo ha sido denominado “drapómetro digital UPC” y se describe más adelante (4). Posteriormente se han analizado los tejidos mediante una variante propia del ensayo del anillo, desarrollada específicamente para esta tesis, que se ha denominado “ensayo del anillo-UPC”, con el fin de determinar de una forma rápida y sencilla la respuesta de los tejidos ante diferentes deformaciones multiaxiales y determinar su posible relación con el cayente (3). Los tejidos se han analizado, también, con los equipos FAST y KES-F, con el fin de determinar su comportamiento físico-mecánico ante pequeñas deformaciones y sus posibles relaciones con los resultados obtenidos en los anteriores ensayos.

Se incluye también, un capítulo con un caso de estudio de aplicación de la nueva forma de evaluación del cayente propuesto en esta tesis donde se estudia la sensibilidad de éste método para determinar las variaciones de las condiciones de un proceso de acabado silk-like de un tejido de poliéster. En este capítulo específico se describe detalladamente tanto las condiciones del proceso de acabado realizado en una planta piloto así como las características del tejido de poliéster utilizado.

Objetivo	Ensayo	Lugar donde se ha realizado el ensayo
Determinación del cayente y sus diferentes índices e indicadores	Drapómetro digital UPC	Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería textil y papelera. Universitat Politècnica de Catalunya
Determinación de la respuesta mecánica de los tejidos ante pequeñas deformaciones	FAST	Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería textil y papelera. Universitat Politècnica de Catalunya
Determinación de la respuesta mecánica de los tejidos ante pequeñas deformaciones	KES-F	Tracción, Cizalladura y Superficie en el Laboratorio de física textil. Universidade do Minho. Guimarães (Portugal) Flexión y Grosor en el Laboratorio de parametría física textil. Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Terrassa. Universitat Politècnica de Catalunya.
Determinación del comportamiento de los tejidos ante pequeñas deformaciones multiaxiales	Anillo-UPC	Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Universitat Politècnica de Catalunya

Tabla 3-2 .Métodos de ensayo utilizados en esta tesis y lugar donde se han realizado

2.2 Ensayo del cayente mediante el drapómetro digital UPC

El primer prototipo de drapómetro fue diseñado en 1950, si bien posteriormente fue mejorado convirtiéndose en un método de ensayo adoptado por la mayoría de agencias de normalización como un estándar para la evaluación de esta propiedad textil (6, 7 y 8). El principio de funcionamiento de este equipo es el siguiente: una probeta circular de tejido de 30 cm de

diámetro se deposita horizontalmente encima de un disco metálico rígido de 18 cm de diámetro. La parte del tejido que no descansa sobre este disco rígido vuela libremente en función de su cayente. Justo debajo del centro de la probeta circular se encuentra una fuente luminosa, alineada con el foco de un espejo parabólico, que proyecta un haz de luz hacia abajo. Este haz de luz incide en el espejo que lo devuelve hacia arriba y al interceptar la probeta de tejido circular proyecta la sombra de su cayente sobre un anillo de papel situado en un plano paralelo al tejido y encima de éste. En la figura 1-2 se muestra, nuevamente, un esquema del equipo y en la 3-2 y 4-2 unas fotos.

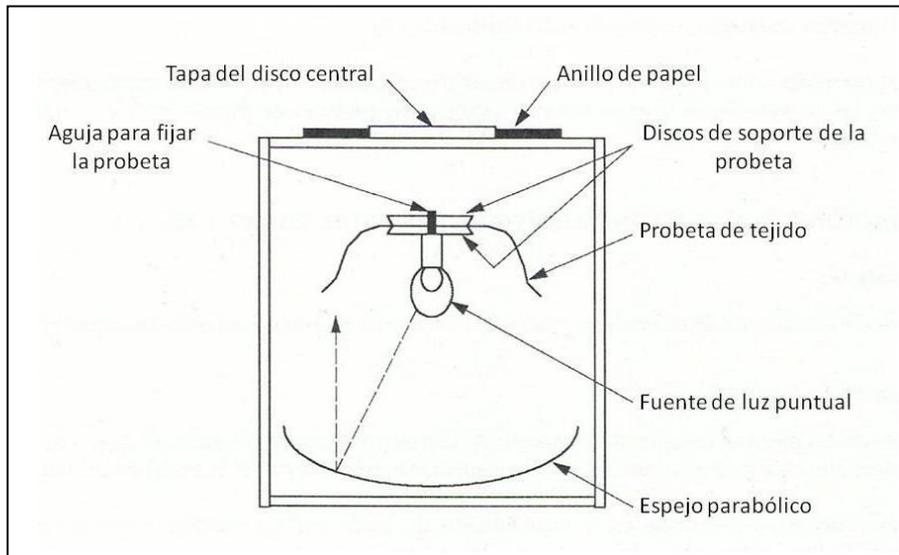


Figura 1-2. Esquema del Drapómetro Cusick.

El Índice cayente DR%, (*Drape Ratio* en inglés), se define como el área de la sombra proyectada menos la del disco de soporte dividido por el área de la probeta menos la del disco de soporte (figura 2-2).

$$DR \% = \frac{\text{Área sombra proyectada (A)} - \text{Área del disco de soporte (B)}}{\text{Área de la probeta (C)} - \text{Área del disco de soporte (B)}} \times 100$$

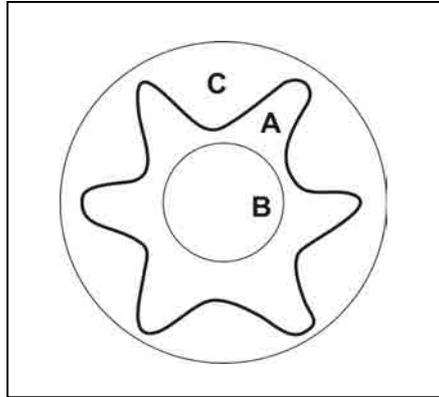


Figura 2.2. A = Área proyectada por la sombra de la muestra caída, B = Área del disco de soporte de la probeta, C = Área de la probeta sin caer.



Figura 3-2. Modelo actual del Drapómetro desarrollado por Cusick. (Foto: Departamento de Ingeniería textil y papelera de la UPC).

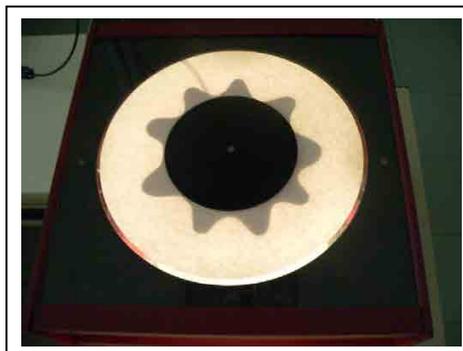


Figura 4-2. Perfil de la sombra proyectada del cayente del tejido en la versión actual del drapómetro Cusick. Foto: Departamento de Ingeniería textil y papelera de la UPC

Para la determinación del DR% se dibuja en el papel anular la forma del cayente siguiendo el perfil de la sombra proyectada por la probeta caída. Una vez hecho el dibujo se procede a recortar el papel por el perfil dibujado por la sombra. A continuación se pesa únicamente el trozo de papel que incluye la sombra proyectada por el cayente (W_1) y se divide por el peso la de la totalidad del papel anular de ensayo ($W_2 =$ zona sombreada y zona sin sombrear). Este ensayo sigue la norma británica BS 5058,1973. “*Método para la evaluación del cayente de los tejidos*”.

$$DR\% = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100$$

Los ensayos se realizan por el haz y por el envés de cada probeta y se obtiene media de las dos determinaciones de 4 probetas.

Con motivo de la elaboración de la presente tesis en la Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la UPC, se ha procedido a desarrollar un drapómetro digital propio que denominamos “drapómetro digital UPC”. El equipo está formado por drapómetro convencional Cusick (SDL ATLAS, 2013) que lleva incorporado en su parte superior de una cámara digital CCD modelo Guppy F33B (AVT) monocromo (9). La cámara va conectada a un ordenador que recoge la señal y la procesa mediante el programa de análisis de imágenes (ver figura 5-2).

La Guppy F-033B/C es una cámara VGA de visión ultra compacta con un sensor CCD, Sony ICX424 (ver Figura 5-2). Las características técnicas se describen en la tabla 4-2.

Antes de realizar los ensayos mediante este equipo, se ha procedido a calibrar la cámara, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, con el fin determinar el número de píxeles por centímetro de las imágenes capturadas, y

corregir las distorsiones tanto ópticas como de alineamiento de la cámara y en base a ello proceder a realizar diversos cálculos geométricos mediante el software de análisis de imágenes, (figura 6-2).

Las imágenes obtenidas se han tratado mediante el software Sherlock™, comercializado por la empresa española INFAIMON, S.L. especializada en análisis de imágenes. El software tiene un lenguaje propio de programación que permite definir las instrucciones para la realización de las mediciones y cálculos necesarios. En la figura 7-2 se muestra la secuencia del proceso para la determinación de los parámetros de la geometría del cayente mediante el drapómetro digital UPC. En primer lugar se realiza la foto digital de la sombra proyectada por el cayente. A continuación la imagen captada, inicialmente en escala de grises, se transforma en imagen monocroma o binaria por filtración del ruido en el umbral. Posteriormente, con la imagen preparada, el software de análisis de imagen sigue las instrucciones del programa y procede a determinar los correspondientes parámetros de la geometría de la imagen. La figura 8-2 muestra tres fases de este proceso.

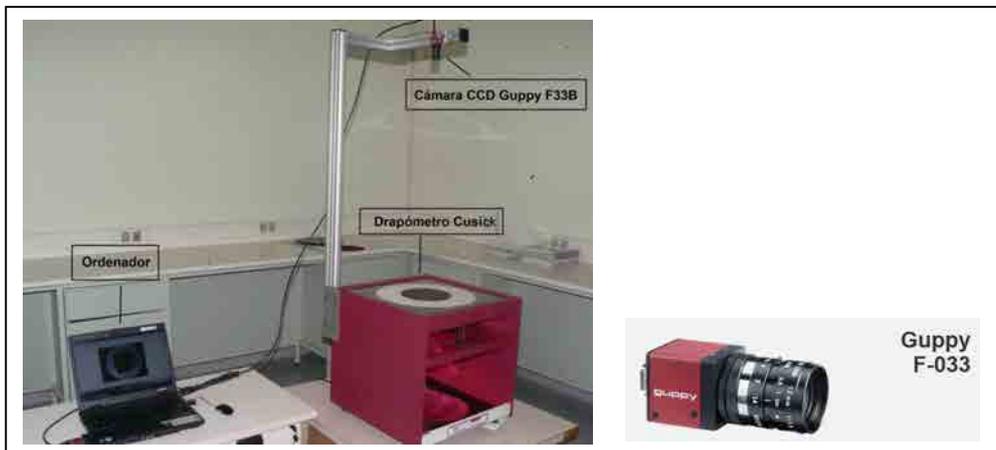
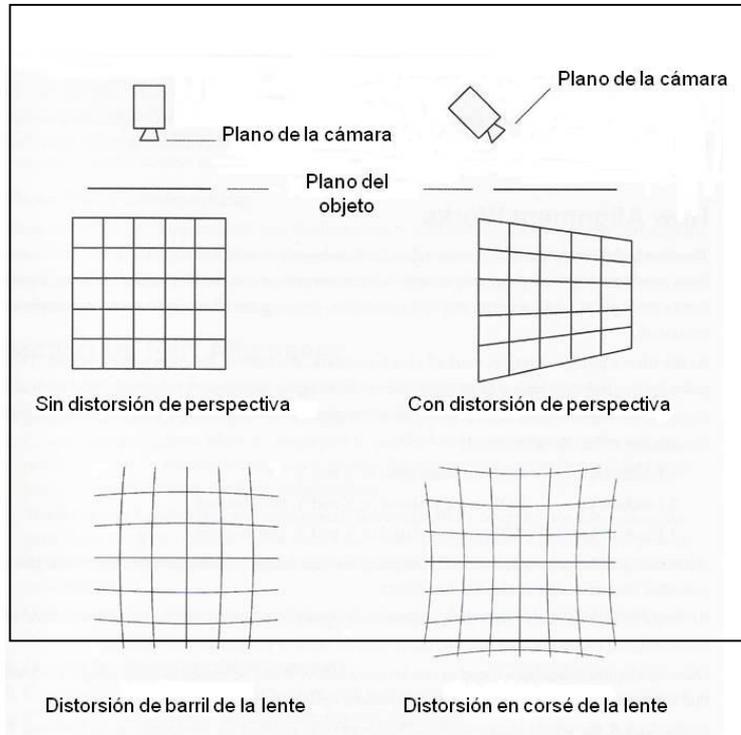


Figura 5-2. Izquierda: Drapómetro digital UPC. Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería textil y papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya. Derecha: Cámara Guppy F-033

Interface	IEEE 1394a - 400 Mb/s, 1 port
Resolución	656 x 494
Sensor	Sony ICX424
Tipo de sensor	CCD Progresivo
Tamaño del sensor	Type 1/3
Tamaño de la célula	7.4 μm
Lente montada	C
Frecuencia a máxima resolución	58 fps
A/D	10 bits
Profundidad de bits	8 bits
Modos de Mono	Mono8
Modos Raw	Raw8
TTL I/Os	1 entrada y 3 salidas
RS-232	1
Requerimientos de potencia	8 V - 36 V
Consumo (12 v)	< 2 W
Peso	50 g
Longitud x Anchura x Altura, en mm)	48,2 x 30 x 30 mm

Tabla 4- 2 Especificaciones técnicas de la Cámara Guppy F-033. Fuente: (Allied Vision Technologies, 2013)



ajuste y calibrado de la cámara del Drapometro digital UPC

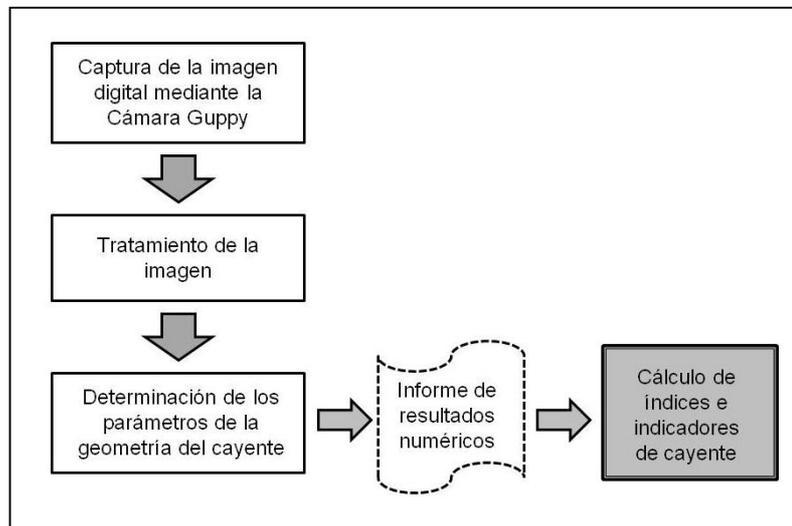


Figura 7-2. Proceso seguido para la determinación de los parámetros de la geometría del cayente.

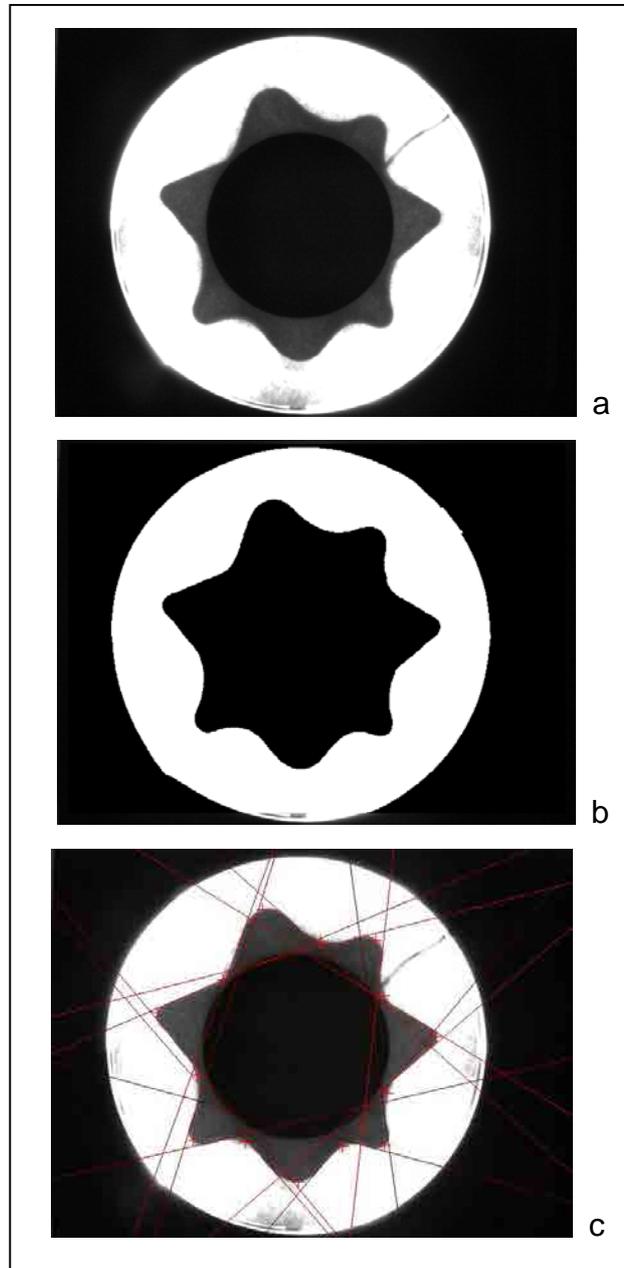


Figura 8-2. Imagen de la probeta PB2 ACETEX E0 .a) Obtenida con la cámara Guppy, b) imagen anterior una vez filtrado el ruido en el umbral, c) tratada con el software de análisis de imagen donde se muestran con una cruz la posición de cada Pico y Valle así como de las tangentes al perfil para el cálculo de los ángulos entre pliegues consecutivos

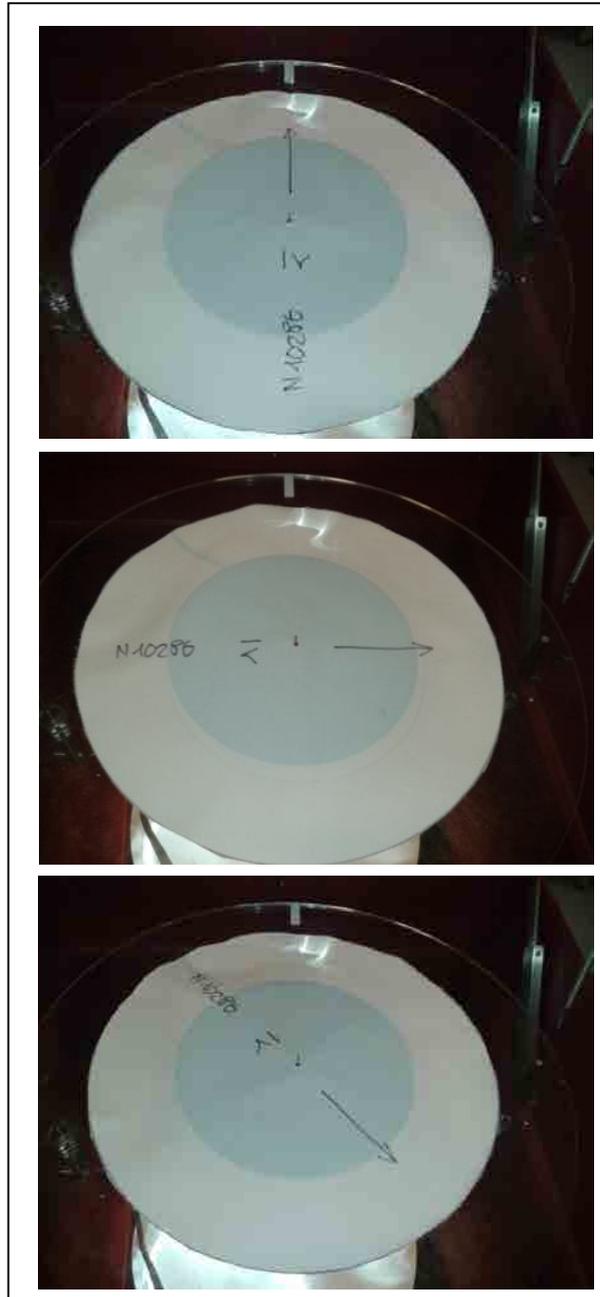


Figura 9-2. Posicionamiento de las probetas en el ensayo de cayente con el drapómetro digital UPC. Imagen de arriba: posición 1 (0°). Imagen del centro: posición 2 (90°). Imagen de abajo: posición 3 (135°).

En cuanto al muestreo cabe indicar que de cada tejido se han extraído al azar un total de 4 probetas de 300 mm de diámetro que han sido sometidas al ensayo del drapómetro digital UPC. Las determinaciones se han realizado en tres posiciones distintas de la probeta. En la primera posición denominada "Giro 0°" se hace coincidir una marca del disco de soporte del drapómetro con el sentido de la urdimbre de la probeta que descansa sobre él. En la segunda posición se hace un giro de 90° respecto a la posición primera y finalmente la tercera posición se hace un giro de 45° respecto a la segunda posición (y 135° respecto a la posición inicial) tal como se muestra en la figura 9-2. De cada probeta se han realizado 6 determinaciones (3 por haz y otras 3 por el envés). El resultado de cada índice o indicador de cayente obtenido, ha sido, por lo tanto, el promedio de 24 determinaciones distintas.

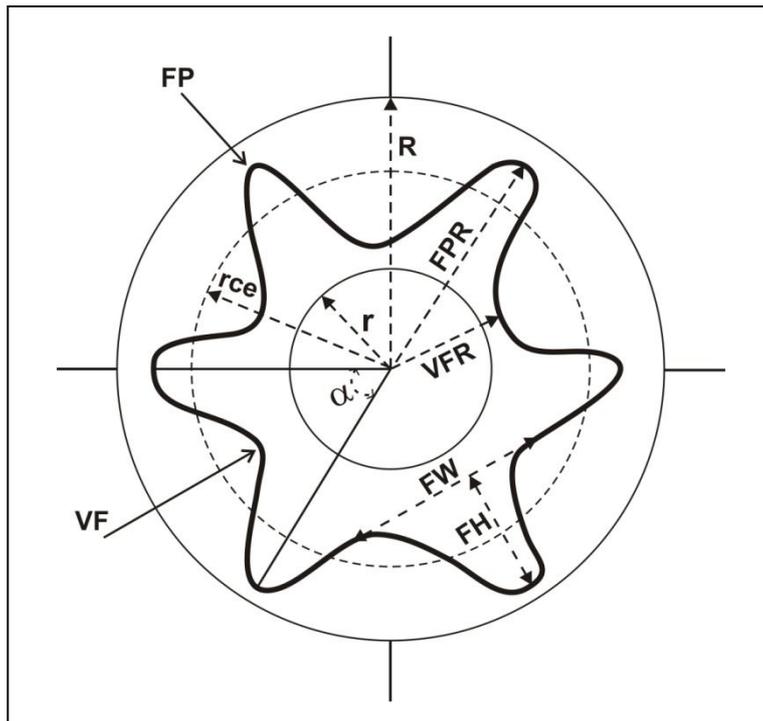


Figura 10-2. FP = Pico, VF = Valle, FPR = Radio del Pico, VFR = Radio del Valle, FW = Anchura del nodo, FH= Altura del nodo, r = Radio del disco de soporte, R = Radio de la probeta, r_{ce} = Radio de la circunferencia, α = Angulo entre nodos consecutivos

Parámetro	Unidades
Área de la sombra proyectada. A	mm ²
Número de nodos. FN	n
Longitud de cada Pico. FPR	mm
Longitud media de los Picos FaPR	mm
Longitud de cada Valle. VFR	mm
Longitud media de los Valles. VaFR	mm
Anchura de cada nodo. FW	mm
Altura de cada nodo. FH	mm
Ángulo entre cada nodo consecutivo. α	(^o)
Radios (1-720). Ri Distancia entre el centro de la probeta y el extremo de la sombra proyectada por el tejido caído determinada cada 0,5 ^o , obteniendo por lo tanto 720 determinaciones de radio.	mm
Perímetro de la sombra proyectada por la probeta. P	mm

Tabla 5-2. Determinaciones de los parámetros de la geometría del cayente de cada probeta, realizadas mediante el software SherlockTM

Los ensayos se han realizado con las muestras acondicionadas durante 24 horas en un clima estándar 20^o ±2^oC de temperatura y 65 ± 2% de humedad relativa del aire.

En la tabla 5-2 se muestran las distintas variables geométricas obtenidas directamente en el ensayo del drapómetro digital UPC y en la figura 10-2 el significado de cada una de ellas.

2.2.1 Aproximación conceptual al estudio analítico del cayente

Desde que a mediados del siglo XX se diseñara el primer equipo para la evaluación del cayente de los tejidos (5), los investigadores textiles han propuesto una gran cantidad de índices e indicadores descriptores del fenómeno. La mayoría de éstas propuestas se han quedado en aportaciones aisladas que no han implicado un cambio substancial del paradigma conceptual en la evaluación del cayente. El desarrollo de la electrónica digital, sin embargo, ha permitido substituir el ojo humano por cámaras digitales que captan la sombra proyectada por el cayente en los drapómetros de tipo Cusick. Esta información ha podido tratarse mediante software de análisis de imagen lo cual ha significado un avance cualitativo muy notable en el estudio del fenómeno puesto que ha podido estudiarse la geometría de la proyección del cayente mediante herramientas matemáticas mucho más potentes. Cada uno de los indicadores propuestos, se corresponden con los distintos enfoques o aproximaciones que se han realizado para estudiar, describir, evaluar o bien simular el cayente y pueden agruparse en cuatro categorías:

- a) Áreas y Perímetros: El cayente se estudia mediante el cálculo del área proyectada por la sombra de la probeta, ya sea mediante su medición directa o bien indirecta (círculo equivalente a partir de radios y/o longitud perimetral que encierra a dicha área).

- b) Radios: El cayente se estudia a partir de la medida de los radios de las diversas partes de la sombra proyectada por el cayente como por ejemplo el radio medio, del radio de la circunferencia equivalente, de la relación porcentual de distancias radiales o bien su varianza. Mediante la información obtenida de los radios puede obtenerse información sobre el grado de circularidad de la forma del cayente.

- c) Nodos: Estudio de las características de los Nodos como puede ser su número, profundidad, dimensiones (Anchura, Altura, etc.) o bien su distribución y regularidad.

- d) Perfil: Estudio de la forma (severidad, esbeltez y simetría) de la curva del cayente mediante herramientas matemáticas apropiadas como son las series de Fourier, las curvas Spline o bien los fractales.

- e) Simulación 3D: El interés, tanto de los diseñadores como de los investigadores del ámbito de la computación gráfica, para simular el cayente de los tejidos en 3D ha hecho necesario determinar algunos parámetros de la geometría del cayente (como por ejemplo el ángulo de caída) que contribuyen de una forma notable a imaginar el aspecto tridimensional del cayente.

A partir de los datos obtenidos mediante el drapómetro digital UPC (ver tabla 5-2) se han realizado los cálculos necesarios para la determinación de los índices e indicadores de cayente. En esta tesis no se utilizarán las expresiones “variables o parámetros” tal como se hace habitualmente para describir determinadas magnitudes de la geometría del cayente sino la expresión “indicadores”, más propia de los ámbitos de la economía, medio ambiente, sostenibilidad y ciencias sociales, puesto que si bien son

magnitudes que describen aspectos de la geometría del cayente tienen la voluntad de explicar algo más que su propia magnitud y por lo tanto adquieren una dimensión interpretativa que conviene reconocer. Con el fin de simplificar la redacción se utilizará la expresión indicador para describir tanto a los indicadores propiamente dichos (variables como puede ser el número de nodos) como a los indicadores agregados que en sentido estricto deberían denominarse “índices” como es el caso del DR% que es una expresión numérica de la relación entre dos cantidades.

A continuación se describen las distintas propuestas realizadas hasta la fecha por los investigadores textiles para la evaluación del cayente de los tejidos.

a) Índice de cayente, DR% (8). Se trata del primer índice utilizado para la evaluación tridimensional del cayente. Para ello utiliza el Drapómetro descrito anteriormente (figura 1-1). El índice de cayente (Drape Ratio, en inglés) se define como la fracción del área del anillo anular cubierta por la proyección del voleo de la muestra y se expresa en %. Los resultados obtenidos con este ensayo están acotados en 0 (máximo cayente) y 100 (mínimo cayente).

El DR% nos suministra una descripción objetiva del cayente del tejido aunque no de una forma totalmente completa. Un DR% bajo indica que el tejido se deforma con facilidad y por lo tanto que su cayente será elevado mientras que un DR% alto indica una baja deformación y por lo tanto un cayente también bajo

De acuerdo con la figura 2-2:

$$DR\% = \left(\frac{A - B}{C - B} \right) \cdot 100$$

En el fondo el DR% es un cociente entre áreas (entre la de la sombra proyectada por el cayente del tejido y la sombra proyectada por el tejido sin caer). Esta área puede obtenerse de varias formas distintas:

- a) Sistema Cusick: Pesando la zona del papel que proyecta la sombra del cayente del tejido y deduciendo, en función del gramaje del papel, su área en mm².
- b) Sistema digital: El software de análisis de imagen calcula la superficie de la sombra proyectada por el cayente a partir de la determinación de los píxeles que ocupa la sombra.
- c) Sistema Radio medio: El software de análisis de imagen determina el radio del tejido cada 0,5° y el promedio de estas 720 determinaciones permite obtener el radio medio (R_{avg}) que matemáticamente es lo mismo que el radio de la circunferencia equivalente (r_{ce}), es decir el radio de una circunferencia que tenga la misma superficie que la sombra proyectada por el cayente. A partir de este radio se obtiene el área mediante: $A = \pi \cdot R_{avg}^2$.
- d) Sistema trigonométrico: Este método (10) proponen calcular el área de la sombra proyectada por el cayente del tejido a partir de:

$$A = \pi \left(p^2 + \frac{q^2}{2} \right)$$

siendo:

$$p = \frac{FaPr + VaFR}{2}$$

$$q = \frac{FaPr - VaFR}{2}$$

Con el fin de estudiar estos cuatro métodos de cálculo distintos, se ha procedido a determinar el área proyectada por la sombra del cayente en un total de 22 tejidos de calada comerciales y a determinar el coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes métodos concluyendo que existe una elevada y significativa correlación entre ellos (ver tabla 7-2).

Composición	Lig.	g/m ²	Cusick	Digital	R _{avg}	p/q
WO/PAN 60/40	Doble tela	447,41	55.501,42	55.867,23	55.700,87	56.638,89
PES/CV/ EA 64/31/5	Doble tela	371,45	48.518,71	49.093,81	48.845,96	50.035,35
WO/PA 90/10	Doble tela	333,26	54.308,14	54.326,18	54.129,95	55.026,45
CO/VO/PA 76/19/5	Tela 2 caras	309,14	56.286,42	56.435,52	56.267,84	57.805,07
CO 100	Esterilla	241,16	55.643,84	56.282,56	56.141,94	57.510,48
CO 100	Sarga	257,33	55.745,44	55.613,80	55.435,38	56.403,32
PES/CV/EA 65/31/4		221,17	39.446,90	39.576,22	39.206,60	41.192,26
CO 100	Espiguilla	214,00	52.088,72	52.492,68	52.349,02	53.334,39
WO 100	Sarga	191,08	44.248,93	45.054,98	44.744,36	46.304,95
LI100	Tafetán	186,90	56.334,12	57.523,46	57.352,59	57.470,18
CO 100		179,25	51.281,56	52.051,10	51.799,53	52.696,15

Composición	Lig.	g/m ²	Cusick	Digital	R _{avg}	p/q
CV/WO/PES 43/34/24		171,25	39.470,93	40.373,62	39.991,88	41.673,42
PES/LI 55/45	Sarga	163,58	52.590,21	52.624,51	52.157,77	53.410,74
PES 100%	Raso	90,00	53.286,19	53.324,63	53.140,16	54.100,36
PES/CV	Raso	90,00	55.004,46	55.053,83	54.845,26	56.102,80
CV/CA 55/45	Sarga	80,00	45.154,91	45.227,77	44.957,76	46.122,86
CV/PES	Sarga	68,50	54.024,36	53.878,21	53.606,59	54.733,53
CA 100	Tafetán	68,00	46.092,06	47.195,67	46.921,39	48.159,39
PES/CV	Tafetán	65,00	49.790,20	49.991,68	50.156,35	51.318,30
PES/CV 50/50	Sarga	65,00	49.685,73	50.057,60	49.712,19	50.840,67
CO 100	Sarga	169,5	45.682,5	45.929,1	45.550,60	48.285,78
CO/PES 65/35	Tafetán	90,00	50.441,3	50.196,4	50.000,0	51.296,5

Tabla 6-2. Área de la sombra proyectada por el cayente de los tejidos en mm² calculada mediante 4 métodos distintos de una muestra de 22 tejidos de calada comerciales

Área R _{avg}	Área digital	Área Cusick	
0,997	0,997	0,996	Área calculada p/q
	1,000	0,997	Área R _{avg}
		0,997	Área digital

Tabla 7-2. Matriz de los coeficientes de correlación Pearson entre los diferentes métodos de cálculo de la sombra proyectada por el cayente de los tejidos

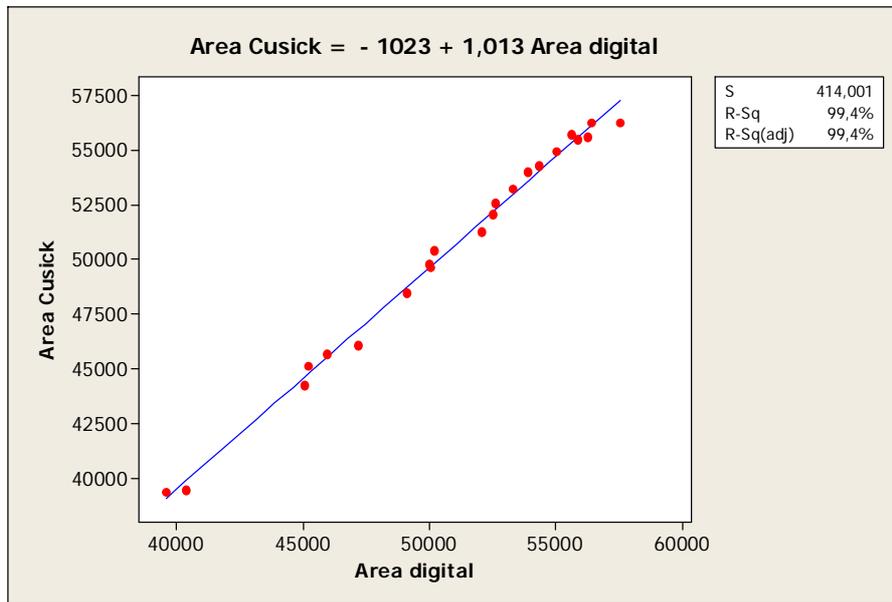


Figura 11-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema Cusick y el área determinada por el sistema digital

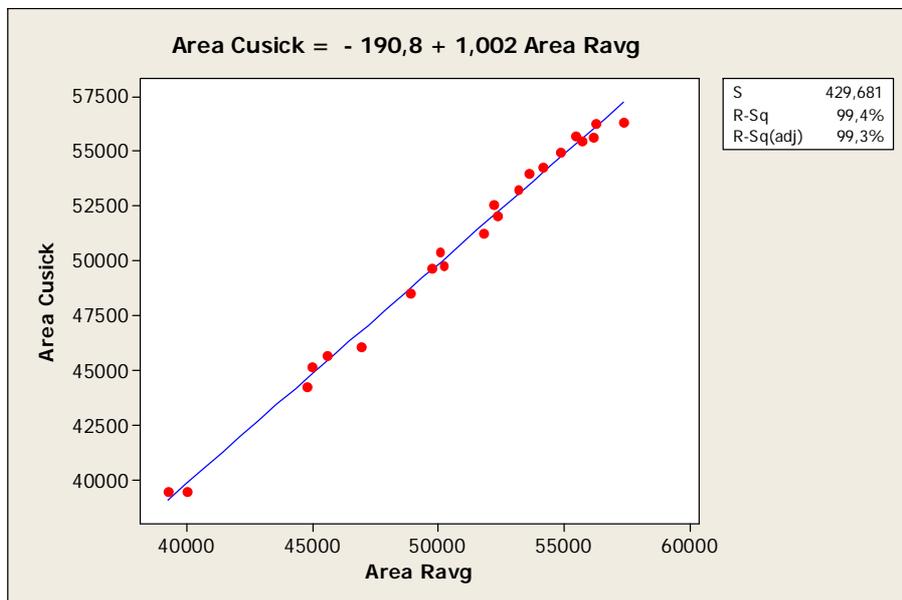


Figura 12-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema Cusick y el área determinada por el sistema R_{avg}

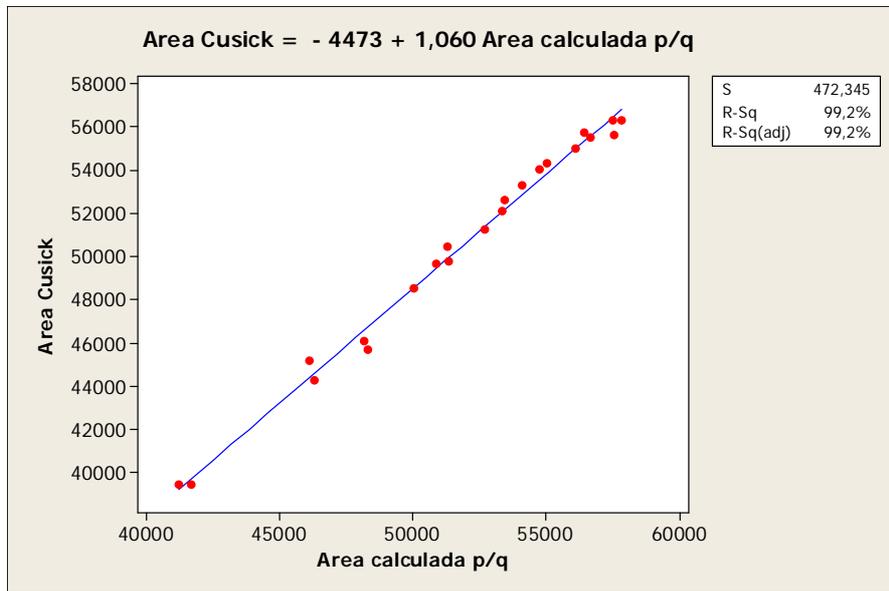


Figura 13-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema Cusick y el área calculada por el sistema trigonométrico p/q

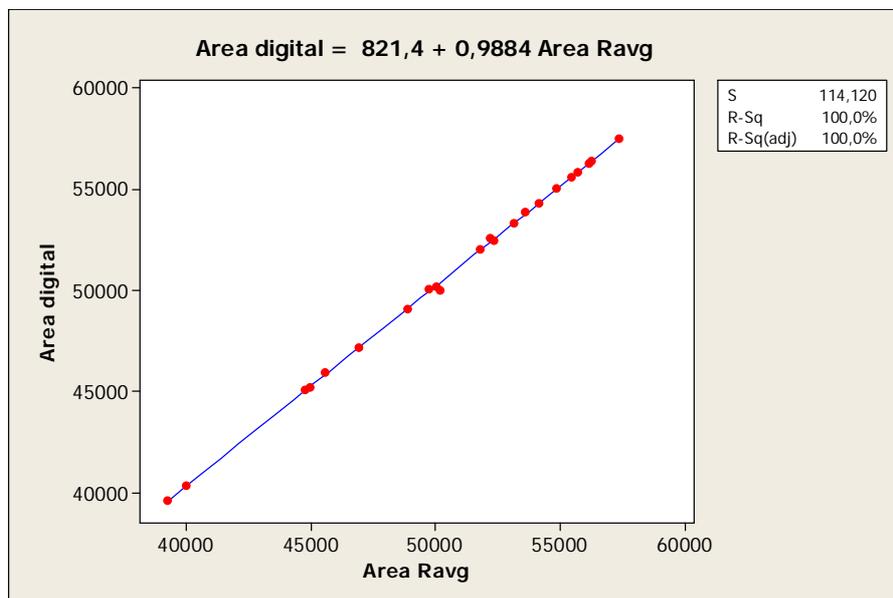


Figura 14-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema digital y el área determinada por el sistema R_{avg}

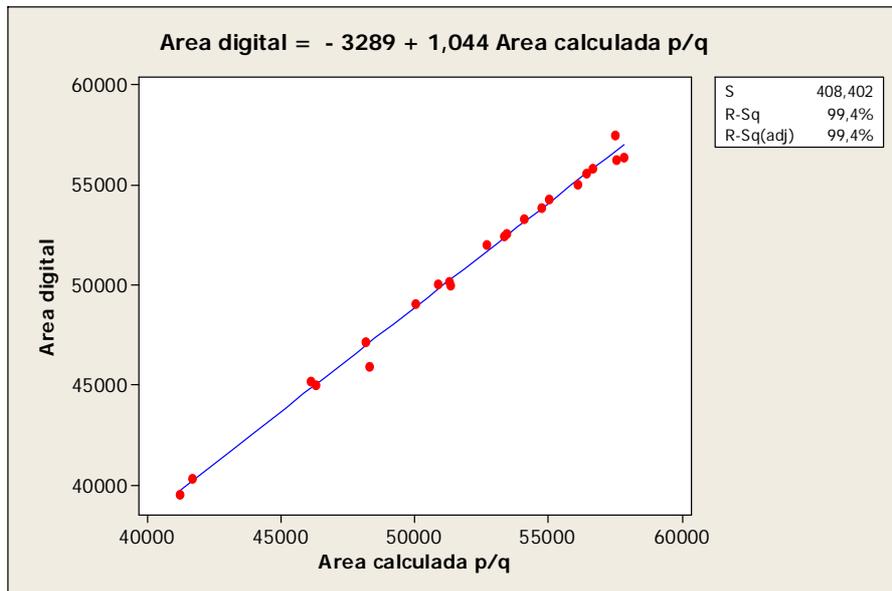


Figura 15-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema digital y el área determinada por el sistema trigonométrico p/q

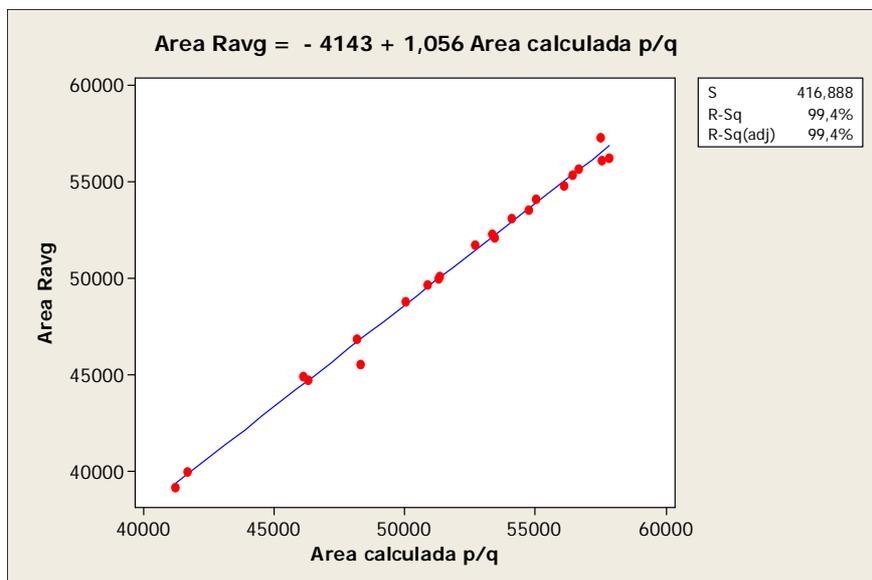


Figura 16-2. Regresión entre el área del cayente calculada por el sistema R_{avg} y el área determinada por el sistema trigonométrico p/q

b) Número de Nodos, FN (11). Determinación visual del número de nodos de la probeta en el ensayo con el drapómetro Cusick. Un nodo es un punto máximo en el perfil proyectado en un plano. Adopta una forma más o menos triangular siendo su base la dimensión FW y la altura FH (figura 11-2). Los tres vértices son un pico (FP) y dos valles adyacentes (VF).

c) Índice de forma, SF (12). Dada la dificultad que en los años 60 del siglo XX había para calcular, de forma sencilla y repetitiva, la forma de los nodos, los autores de éste índice proponen una simplificación del cálculo asumiendo que todos los nodos de la probeta son iguales y no presentan ninguna asimetría (figura 12-2). El Índice de forma (*Shape Factor*, en inglés), es el cociente entre la amplitud y la longitud de la onda formada por los nodos, asumiendo que todos ellos son iguales (en nuestro caso será el cociente entre la longitud media de los Picos - $FaPR$ - y la longitud de onda l . Se expresa en mm. Matemáticamente se calcula mediante la fórmula siguiente, de acuerdo con la Figura 11-2 y en base al teorema del coseno.

$$l = \sqrt[2]{FPR1^2 + FPR2^2 - 2 \cdot FPR1 \cdot FPR2 \cdot \cos a}$$

$$\text{como } FPR1 = FPR2$$

$$SF = \frac{FPR1}{l} = \frac{FPR1}{\sqrt[2]{2 FPR1^2 (1 - \cos a)}}$$

$$SF = \frac{FPR1}{\sqrt[2]{2 FPR1^2 (1 - \cos a)}}$$

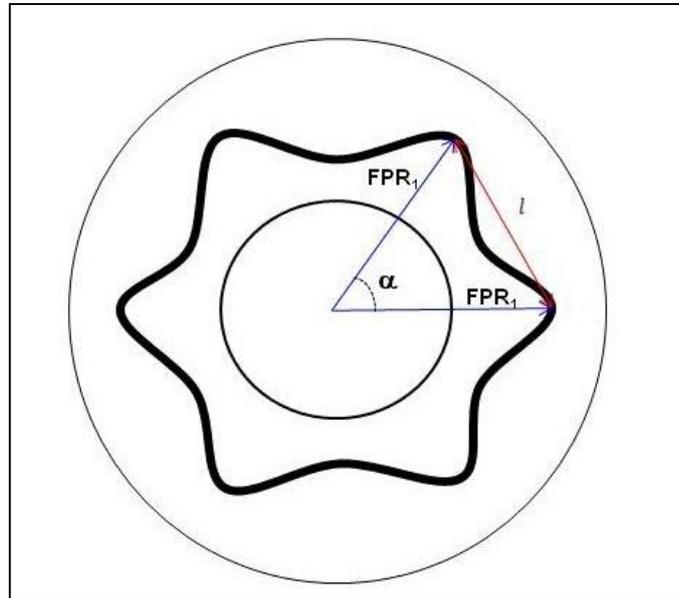


Figura 12-2 Principio trigonométrico del cálculo del Shape Factor

El ángulo α se obtiene dividiendo 360° y el número de nodos dado que se supone que presentan una distribución simétrica. Se supone también que al ser la imagen simétrica, todos los Picos tienen el mismo radio y corresponde al radio medio de los Picos ($FaPR$).

d) Longitud media de los Picos, $FaPR$ (12). Media aritmética de la longitud (o radio) de los Picos, medidos desde el centro de la probeta. Se expresa en mm. Y está acotado entre 90 y 150 mm.

$$FaPR = \sum_{i=1}^n \frac{FPR_i}{n}$$

e) Longitud media de los Valles, $VaFR$ (12). Media aritmética de la longitud (o radio) de los Valles, medidos desde el centro de la probeta. Se expresa en mm y está acotado entre 90 y 150 mm.

$$VaFR = \sum_{i=1}^n \frac{VFRi}{n}$$

f) Ángulo de caída del Pico, αFPR (12). Ángulo formado por la tangente al tejido en cada Pico y su perpendicular (αFPR) (ver figura 13-2). Se expresa en grados ($^{\circ}$) y está acotado entre 0 y 90° . Se trata de un indicador que ayuda a intuir la magnitud del cayente.

$$\alpha FPR = \text{sen}^{-1} \left(\frac{FPR - r}{P} \right)$$

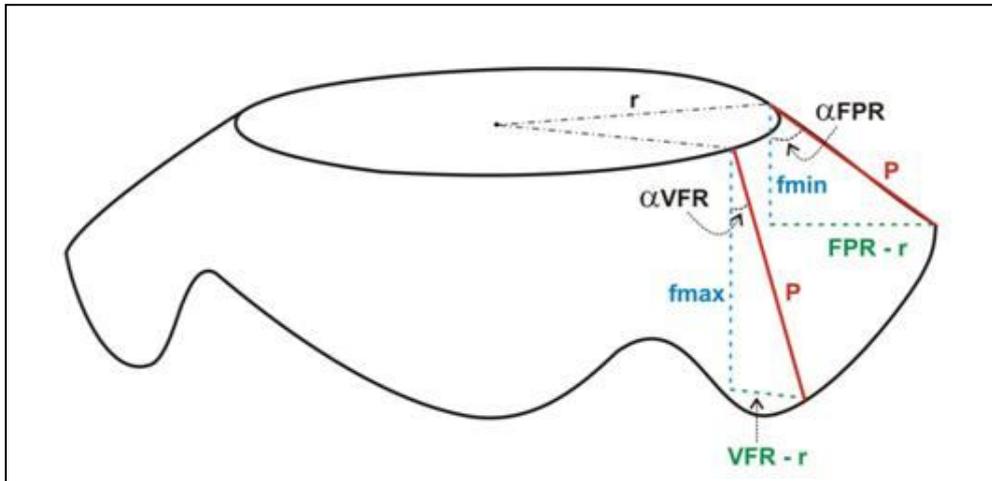


Figura 13-2. Elementos utilizados en el cálculo del ángulo de caída de Picos y Valles

g) Ángulo de caída del Valle, αVFR (12). Ángulo formado por la tangente al tejido en cada Valle y su perpendicular (αVFR) (ver figura 13-2). Se expresa

en grados ($^{\circ}$) y está acotado entre 0 y 90° . Se trata de un indicador que ayuda a intuir la magnitud del cayente.

$$aVPR = \text{sen}^{-1} \left(\frac{VFR - r}{P} \right)$$

h) Índice de profundidad de los pliegues, $FDI De$ (12 y 13). Cociente entre la diferencia de Picos y Valles medios y la diferencia entre el Radio de la probeta sin caer y el disco de soporte. Se expresa en mm.

$$FDI De = \frac{FaPR - VaPR}{R - r}$$

i) Radio medio, $Ravg$ (14). Media aritmética de los radios del cayente, es decir la distancia entre el centro de la probeta y el extremo del tejido caído. En nuestro caso se ha determinado el radio cada 0,5 grados y por tanto se han obtenido 720 determinaciones y calculado su media aritmética de ellos. Se expresa en mm y está acotado entre 90 y 150 mm.

$$Ravg = \frac{\sum_{i=1}^{720} Ri}{n}$$

j) Relación porcentual de distancias radiales, $DDR \%$ (14). Cociente entre la diferencia del Radio de la probeta sin caer y el radio medio partido por la diferencia entre el Radio de la probeta sin caer y el radio del disco de soporte. La diferencia de radios del numerador corresponde a la diferencia entre el radio de la muestra original y el promedio de radios que definen el perfil de la muestra caída y cuanto más pequeña sea, menos deformaciones sufrirá el tejido.

$$DDR\% = \left(\frac{R - R_{avg}}{R - r} \right) \cdot 100$$

k) Radio de la circunferencia equivalente, r_{ce} (14). Radio de la circunferencia equivalente que tenga la misma área de la sombra proyectada por el cayente. Se expresa en mm, y está acotado entre 90 y 150 mm.

$$r_{ce} = \sqrt[2]{A/\pi}$$

l) Varianza de los Picos, $FPVar$ (12). Se obtiene determinando la varianza entre los radios de los picos de cada probeta. Es un indicador que explica la irregularidad y asimetría de la distribución de los picos dentro de una misma probeta.

$$FPvar = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[FPRi - \left(\frac{1}{n} \sum FPRi \right) \right]^2$$

m) Varianza de los radios, VRi . Indicador propio, adaptado a partir de la propuesta de (14). Se obtiene determinando la varianza entre las 720 determinaciones del radio de la probeta medidos cada 0,5 °. Se trata de un indicador que explica la variabilidad de la forma del cayente.

$$VRi = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{720} \left[Ri - \left(\frac{1}{n} \sum Ri \right) \right]^2$$

n) Circularidad, CIRC (15). Se calcula mediante la fórmula que se indica a continuación, donde A_o es el área de la sombra proyectada por el cayente y P su perímetro. El valor obtenido puede variar entre 0 y 1 siendo 1 el círculo perfecto, es decir con cayente nulo, mientras que el próximo a 0 corresponde a perfiles complejos. El *CIRC* es una relación de áreas proyectadas, el área del numerador se calcula según el medidor que se utilice, y el denominador se calcula a partir del perímetro de su perfil, de esta forma se tiene en cuenta la forma de los pliegues (a mayor perímetro, mayor número y/o profundidad de los nodos).

$$P = 2 \pi r \quad , \quad r = \frac{P}{2 \pi}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 = \frac{P^2}{4\pi}$$

$$CIRC = \frac{A_o}{\frac{P^2}{4\pi}} = 4 \pi \frac{A_o}{P^2}$$

o) Severidad media de los nodos. MNS (15). Estos autores proponen transformar el perfil nodal del cayente en un eje de coordenadas donde en “y” se representan los radios (en mm) y en el eje “x” los grados o bien el perímetro de la probeta sin caer.

La severidad media del nodo es la media aritmética del cociente entre la altura de cada nodo “h” y la anchura del mismo “b” (figura 14-2). Se trata de un índice similar al factor de forma SF, si bien calculado de una forma mucho más real. Se expresa en mm.

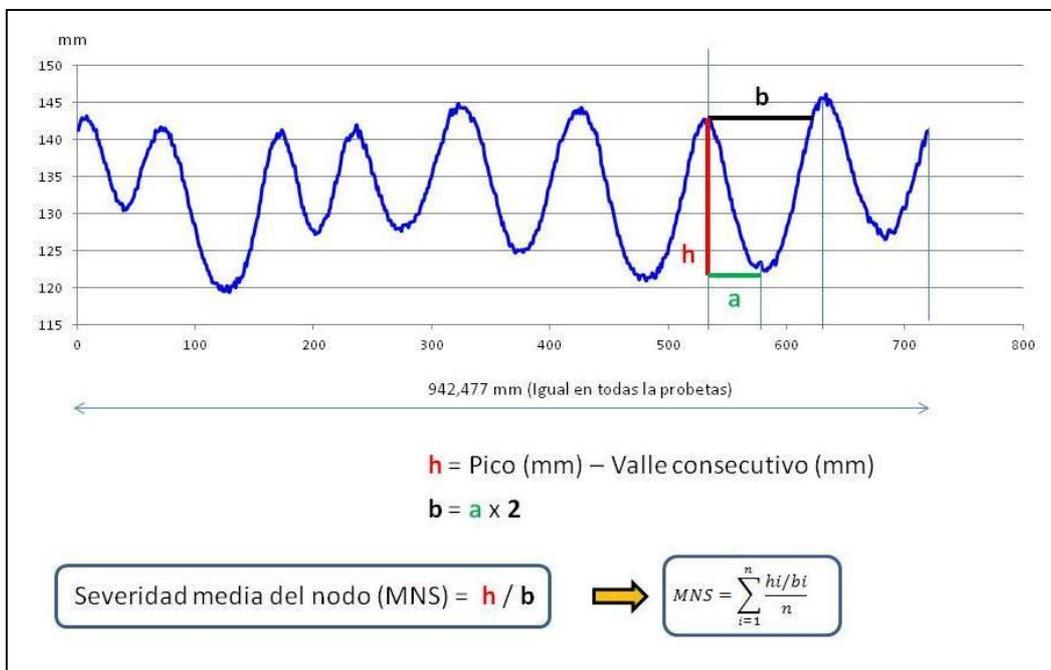


Figura 14-2. Forma de cálculo del MNS.

p) Variabilidad de la severidad de los nodos. VS (15). Desviación standard de la severidad de los nodos de una misma probeta. Se trata de un indicador de la irregularidad de la forma y severidad de los nodos. Explica la regularidad de los nodos en una misma probeta pero no su forma.

$$VS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MNS_i - \overline{MNS})^2}{n - 1}}$$

q) Anchura media de los nodos. FW (16). Anchura media de los nodos, medida desde los valles adyacentes. (Ver Figura 11-2). Se expresa en mm.

$$FW = \sum_{i=1}^n \frac{FWi}{n}$$

Lógicamente, a mayor anchura de los nodos el número de estos disminuirá y también lo hará el cayente.

r) Altura media de los nodos FH (16). Altura media de los nodos, medida desde la línea utilizada para medir FW. (Ver figura 11-2). Se expresa en mm.

$$FH = \sum_{i=1}^n \frac{FHi}{n}$$

s) Distribución de los nodos Gp% (17). Coeficiente de variación de la longitud de los Picos (FPR) en cada probeta. Este indicador explica la variación de la forma de los nodos y su grado de simetría en cada probeta. Se expresa en %.

$$Gp\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (FPRi - \overline{FPR})^2}{n - 1}}}{\overline{FPR}} \cdot 100$$

t) Profundidad media de los nodos. dga (17). Diferencia entre la longitud media de los Picos y los Valles. A mayor diferencia, mayor profundidad de los nodos o pliegues y por lo tanto mayor sensación visual de severidad en el cayente. Se expresa en mm.

$$dga = FaPR - VaFR$$

u) Cayente máximo. f_{max} (17). Seno del ángulo de cayente del valle αVFR . Ver figura 13-2.

$$f_{max} = \sqrt{(R - r)^2 - (r - VaFR)^2}$$

v) Cayente mínimo. f_{min} (17). Seno del ángulo de cayente del pico αFPR . Ver figura 13-2.

$$f_{min} = \sqrt{(R - r)^2 - (r - FaPR)^2}$$

w) Amplitud de la onda dominante. WA (18). En 1807, Fourier, establece que cualquier señal periódica puede ser representada por una serie de sumas trigonométricas en senos y cosenos relacionadas armónicamente. Asimismo para señales no periódicas, Fourier obtuvo una gráfica, no como suma de senoides relacionadas armónicamente, sino como integrales de senoides, las cuales no todas están relacionadas armónicamente. Al igual que las series de Fourier, la integral de Fourier, llamada "Transformada de Fourier", es una de las herramientas más poderosas para el análisis de sistemas lineales invariantes en el tiempo.

La transformada de Fourier es básicamente el espectro de frecuencias de una función que converge puntualmente a una función periódica y continua que puede descomponerse en una suma infinita de funciones senoidales mucho más simples (como combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras). Esta descomposición incluye una función senoidal dominante y otras varias secundarias, la suma de las cuales da lugar a la función estudiada inicialmente (figura 15-2).

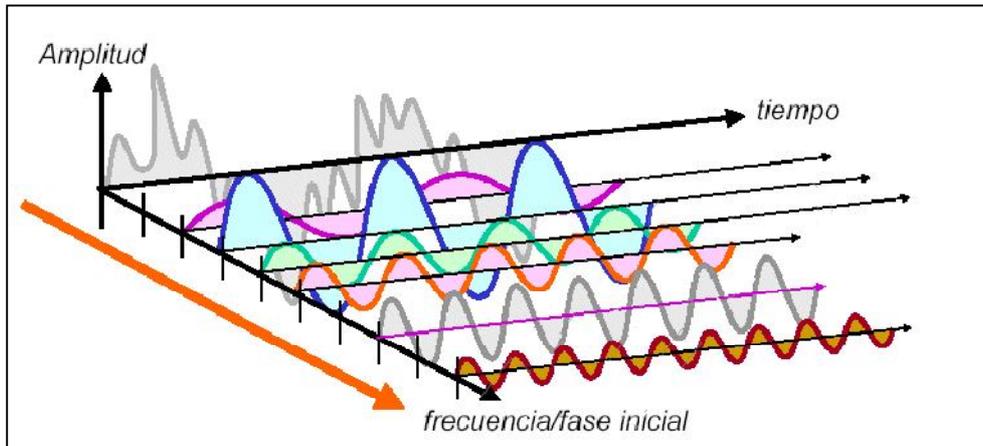


Figura 15-2. Uno de los métodos de representar la señal $x(t)$ es bajo la forma de suma de componentes de distintas frecuencias, cada una de ellas con una amplitud y una fase inicial (19)

Los autores que proponen este indicador, consideran que el perfil del cayente de un tejido no es más que una función periódica que puede descomponerse mediante la transformada de Fourier. Con esta herramienta matemática se obtiene la onda de la frecuencia de onda dominante. Dado que en esta tesis se han realizado 720 lecturas del radio (cada $0,5^\circ$) de la sombra proyectada por el tejido caído, se ha obtenido con ello el dibujo del perfil del cayente en un plano cartesiano donde las ordenadas (y) son los radios y en el eje de abscisas (x) los grados (de 0 a 360°). Con esta información se ha calculado la transformada de Fourier mediante un programa en MATLAB así como la longitud de la onda dominante en mm.

x) Índice de esbeltez o de Isotropía geométrica. D/O (18). En la misma línea que el indicador anterior, los autores proponen éste índice como el cociente entre el área circunscrita por la curva de la onda dominante de la transformada de Fourier y el área original de la sombra proyectada por el cayente. Si el cociente es próximo a 1, quiere decir que la curva original se parece mucho a

la curva de la onda dominante, que es una senoidal perfecta. En este caso la curva original dará lugar a un cayente con un aspecto muy regular, simétrico y de formas muy iguales (periodicidad y regularidad). En realidad el índice D/O explica la regularidad de la forma y simetría, en definitiva de su isotropía geométrica. Cuando D/O se aleje de 1, menos isotrópica será la forma del cayente, o lo que es lo mismo, más anisotrópica será. El índice D/O oscilará entre 0 (isotropía geométrica mínima) y 1 (isotropía geométrica máxima).

y) Índice de amplitud de los radios medios. A/r (20). El índice A/r es la relación de la amplitud media de los pliegues al radio de un círculo ficticio que tiene la misma área que la proyectada (rce). Cuando rce se aproxima al radio de la muestra, el tejido apenas se deforma y la amplitud de los pliegues es pequeña y, por tanto, el parámetro A/r da un valor alto, y cuando r disminuye el tejido se deforma más, la amplitud es mayor, y el parámetro A/r da un valor bajo. El resultado de este índice se expresa en mm.

$$\frac{A}{r} = \frac{\frac{dga}{2}}{rce}$$

z) Factor R. R Factor (21). Índice propuesto para determinar la “simplicidad” del cayente.

$$R \text{ Factor} = \frac{\sqrt[2]{(ri - rce)^2}}{rce - R}$$

Donde $\overline{(ri - rce)^2}$ es el promedio de $(ri - rce)^2$ a lo largo del contorno del perfil del cayente y ri, rce, R , son las coordenadas radiales de la proyección del

cayente, el radio de la circunferencia equivalente y el radio de la probeta respectivamente. El Factor R expresa la simplicidad o irregularidad del cayente. Cuando mayor sea el factor R, menor será la simplicidad de la forma del cayente. Según los autores, este índice puede servir para discriminar la forma del cayente ante tejidos que presenten un mismo valor de DR%. Se expresa en mm.

aa) Ángulo entre nodos consecutivos. α° (22). Media aritmética del ángulo entre los nodos consecutivos de una probeta. El ángulo entre los nodos consecutivos de una misma probeta pueda variar bastante en función de la asimetría de la misma. Sin embargo cuando se realiza la media aritmética del ángulo entre nodos consecutivos de una misma probeta, los resultados se compensan de tal manera que se obtiene una cifra muy próxima al cociente entre 360° y el número de nodos. Siendo, por tanto, un indicador de poco interés. El resultado se expresa en grados.

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{n}$$

ab) Índice porcentual de profundidad de pliegues. $FDI De\%$ (22). Cociente entre la profundidad de los pliegues y la diferencia entre el radio de la probeta y del disco de soporte multiplicado por 100. Se expresa en %.

$$FDI De\% = \left(\frac{dga}{R - r} \right) \cdot 100$$

ac) Semiapertura de los radios. ARR (22). Mitad de la profundidad media de los nodos. Se expresa en mm.

$$ARR = \frac{dga}{2}$$

ad). Dimensión fractal. D (23). Dimensión fractal del perfil del cayente calculada por el método “Box-Counting”.

A partir de un segmento, un cuadrado o un cubo de longitud 1 se pueden escalar por ε y cubrir estas figuras geométricas por $N(\varepsilon)$ figuras similares de acuerdo con la ley de potencias siguiente:

$$N(\varepsilon) = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^D$$

El exponente D es la dimensión de la figura estudiada: 1, en el caso del segmento, 2 en el cuadrado y 3 en el cubo. Por lo tanto, las figuras geométricas clásicas tienen dimensiones enteras.

La ley anterior puede aplicarse a figuras de estructuras auto-similares, es decir, aquellas que se generan por repetición de un patrón ó modelo arquitectónico y, en consecuencia, tienen la misma representación al aumentar ó reducir la escala. Estas figuras se denominan fractales (matemáticos), y el coeficiente D es su dimensión fractal, que, según la ley de potencias, vale:

$$D = \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)}$$

La dimensión fractal es una dimensión decimal. Al estar situada entre dos números enteros, los fractales no pueden tratarse como formas “normales”.

Los fractales naturales no son estrictamente auto-similares y la ley de potencias puede validarse para valores de ε muy pequeños:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)} \right)$$

El método más extendido en la literatura científica para estimar la dimensión fractal es el de Box counting (23), que se sintetiza como sigue: se superpone a la figura una cuadrícula de longitud de lado de la celda ε , y se contabilizan el número de ellas que contienen a la figura original; repitiéndose el conteo para otros tamaños de celda ε . Entonces, la pendiente de la ecuación de regresión entre $\ln \cdot N(\varepsilon)$ y $\ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)$ coincide con la dimensión D :

$$\ln \cdot N(\varepsilon) = \ln \cdot K + D \cdot \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)$$

Además de la dimensión Box counting existen otras dimensiones: la dimensión de correlación (que juntamente con la de Box counting son las más usadas por su fácil implementación), la dimensión de Hausdorff (desde el punto de vista teórico es la más importante), la dimensión Rényi, la dimensión de información, etc. Atendiendo a esta diversidad, la dimensión fractal de Box counting se identifica en la literatura científica por D_C . (en todo el texto se ha omitido el subíndice porque sólo se utiliza el método de Box counting).

ae) Irregularidad del cayente. $DU\%$ (24). Coeficiente de variación del ángulo entre nodos consecutivos. Es un índice que explica la simetría del cayente de cada muestra pero no, en cambio, la forma del cayente. Se expresa en % y oscila entre 0 (simetría máxima) y 100 (simetría mínima).

$$DU\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n-1}}}{\bar{\alpha}} \cdot 100$$

af) Elevación de los nodos. H (25). Semisuma de la longitud media de Picos y Valles. Se expresa en mm.

$$H = \frac{FaPR + VaPR}{2}$$

ag) Amplitud. WAM (25). Cociente entre ARR (semiamplitud de los radios) y H (elevación de los nodos). Se expresa en mm.

$$WAM = \frac{ARR}{H}$$

ah) Relación altura-grados. $R H/\alpha$. (25). Cociente entre la elevación de los nodos y el ángulo entre ellos. Indica la longitud de curva del perfil del cayente que entra en un grado.

$$R H/\alpha = \frac{H}{\alpha}$$

ai) Relación área-perímetro. A/P (25). Cociente entre el área y el perímetro del cayente.

$$\frac{A}{P} = \frac{\text{Área de la sombra proyectada por el cayente}}{\text{Perímetro del perfil del cayente}}$$

ah) Perfil del nodo. F_{sp} (propio). Diferencia entre la anchura y la altura del nodo. Se trata de un indicador de la forma y severidad del nodo, de fácil determinación. Se expresa en mm.

$$F_{sp} = FW - FH$$

2.3 Método de ensayo FAST

2.3.1 Introducción

Las iniciales FAST corresponden a la abreviación del término “*Fabric Assurance by Simple Testing*”, es decir “evaluación de los tejidos mediante ensayos sencillos” y corresponde al nombre comercial del equipo desarrollado por la división lanera del CSIRO (Australia). Dicho equipo fue especialmente diseñado para el uso por parte de tejedores, acabadores y confeccionistas. Este sistema mide las propiedades mecánicas de los tejidos que mayor interés tienen para el confeccionista. Consta de tres instrumentos y un método de ensayo. Los instrumentos miden las deformaciones que sufren los tejidos cuando están sometidos a la acción de pequeñas cargas y el método de ensayo la estabilidad dimensional del tejido (1). El objetivo principal de éste método de ensayo es predecir la confeccionabilidad de los tejidos, es decir la facilidad o dificultad que éstos ofrecerán a superar con éxito las operaciones de confección industrial (corte, costura y plancha). A pesar de que este equipo está concebido para evaluar la confeccionabilidad de tejidos de calada de lana y mezclas, la información que suministra es suficientemente potente e interesante para ser utilizada para analizar el comportamiento de los tejidos a pequeñas deformaciones.

2.3.2 FAST-1

Mide el grosor del tejido cuando es sometido a dos tipos de cargas de compresión. En la primera medición se emplea una carga de 2 g/cm^2 , a continuación mide al grosor bajo una carga de 100 g/cm^2 (ver figuras 16-2, 17-2 y 18-2). La diferencia entre ambos valores se denomina grosor de la capa superficial o compresibilidad absoluta.

$$\text{Grosor de la capa superficial} = \text{Grosor}_2 - \text{Grosor}_{100}$$

El equipo determina el grosor del tejido al calcular la distancia entre el disco de presión y la parte superior del disco de vidrio situado encima del detector de proximidad. Esta separación varía en función del grosor del tejido y la carga de presión que se aplica al tejido durante el ensayo (ver figura 17-2).

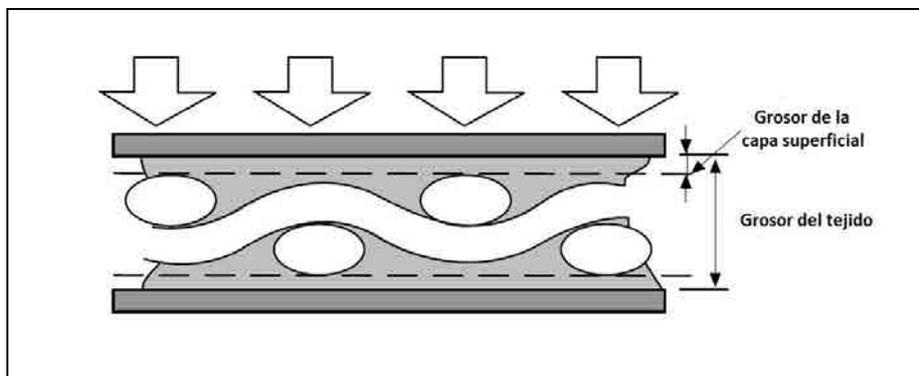


Figura 16-2. Principio de medición del grosor de tejidos mediante el equipo FAST-1 (2)

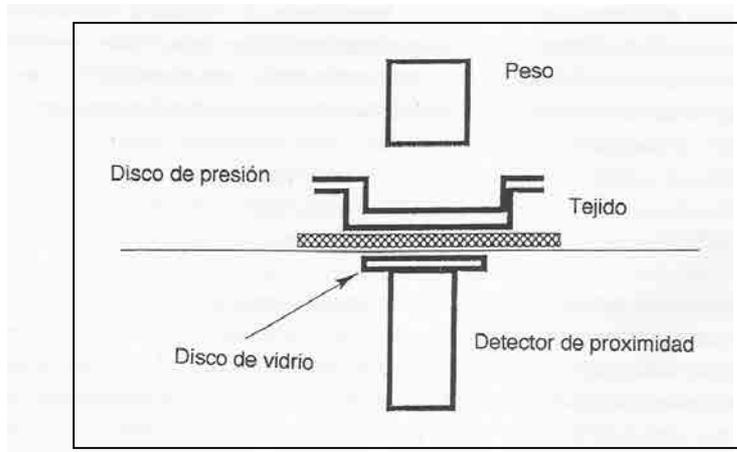


Figura 17-2. Esquema del mecanismo de funcionamiento del sistema de medición del grosor del tejido en el equipo FAST-1 (2)



Figura 18-2. Equipo FAST-1 del Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería textil y papelera. Universitat Politècnica de Catalunya.

Cuando algunos tejidos se someten a la acción del vapor directo de una prensa de vapor, puede suceder que el tejido se relaje, incrementando su grosor y ocasionando como consecuencia, un cambio de aspecto entre la

parte prensada y la parte que está fuera de la prensa. La medición del grosor de la capa superficial del tejido antes y después de la relajación con vapor directo, nos permite deducir un nuevo e interesante parámetro denominado “estabilidad del acabado”, que ayudará a predecir la probabilidad de que ocurra este problema.

$$Estab. acab(\%) = \frac{\text{Grosor de la capa superficial antes de vaporizar}}{\text{Grosor de la capa superficial después de vaporizar}} \cdot 100$$

2.3.3 FAST-2

Mide la rigidez a la flexión (por urdimbre y por trama) mediante el conocido método de la “longitud del voladizo”, es decir, la longitud de tejido que debe sobresalir de un voladizo para que por acción de su propio peso alcance una deformación por flexión de 41,5° (ver figura 19-2). El medidor FAST-2, es muy parecido al flexómetro clásico Shirley descrito anteriormente en el apartado 1.3.1. La diferencia más importante es que dispone de un sistema de aviso luminoso al operador cuando el tejido alcanza la deformación normalizada de 41,5°, esto se produce cuando el tejido intercepta un haz de infrarrojos situado en este nivel de deformación del plano inclinado (figura 20-2). La longitud del tejido doblada por uno de sus bordes se expresa en mm y una vez trasladada al ordenador, se emplea para calcular la rigidez a la flexión mediante:

$$RF = W \cdot C^3 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6}$$

RF = Rigidez a la flexión en $\mu N \cdot m$

C = Longitud de comba en mm

W = Peso por metro cuadrado del tejido g/m^2

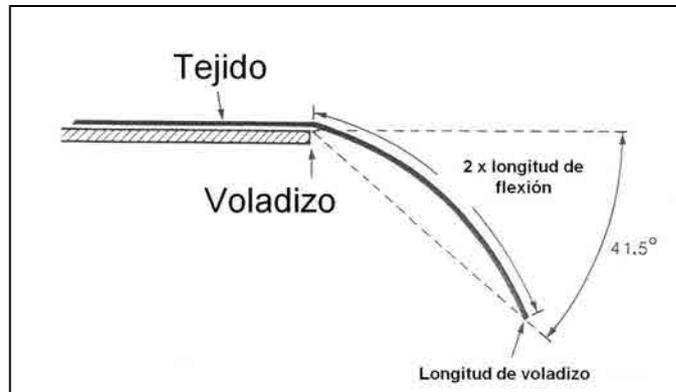


Figura 19-2. Esquema del principio de medición del FAST-2 (2)



Figura 20-2. Equipo FAST-2 del Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería textil y papelera. Universitat Politècnica de Catalunya.

2.3.4 FAST-3

Mide la extensibilidad del tejido por urdimbre y por trama bajo tres niveles de carga: 5, 20 y 100 g/cm. También mide la extensibilidad en la dirección del bias pero tan solo a una carga de 5 g/cm.

La extensibilidad es la medida del alargamiento que alcanza un tejido cuando es sometido a una carga de tracción en sentido axial (ver figura 21-2).

El extensiómetro FAST-3 (ver figura 22-2 y 23-2) funciona como una balanza. Cuando mayor sea el peso situado en el platillo de la balanza, menor será la tensión axial a la que se verá sometido el tejido. Eliminando pesos del platillo se somete al tejido a cargas progresivamente mayores. Los valores de extensión, expresados en tanto por ciento, se leen directamente en el indicador digital del instrumento.

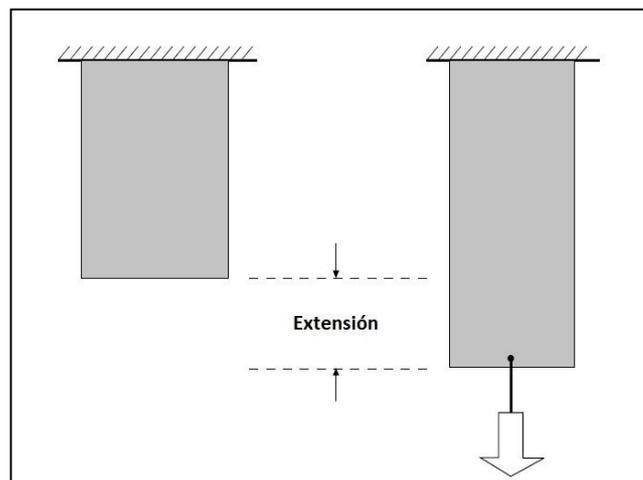


Figura 21-2. Ensayo de extensión del FAST-3 (26)

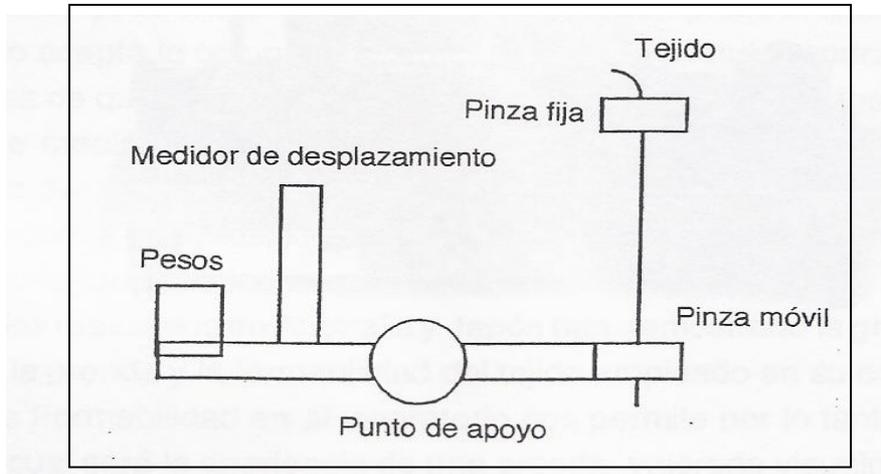


Figura 22-2. Esquema de funcionamiento del medidor de extensión FAST-3 (2)



Figura 23-2. Equipo FAST-3 del Laboratorio de física textil. Departamento de Ingeniería textil y papelera. Universitat Politècnica de Catalunya.

A partir de la extensibilidad al bias, con el FAST-3 podemos deducir la rigidez a la cizalladura mediante la fórmula:

$$RC = \frac{123}{EB_5}$$

donde:

RC = Rigidez a la cizalladura en N/m

EB_5 = Extensibilidad al bias a 5 g/cm

Mediante la rigidez a la flexión y la extensibilidad a bajas cargas podemos deducir un nuevo parámetro de gran interés en confeccionabilidad, la Formabilidad:

$$F = \frac{(E_{20} - E_5) \cdot RF}{14,7}$$

donde:

F = Formabilidad en mm^2

E_{20} = Extensibilidad a 20 g/cm , en %

E_5 = Extensibilidad a 5 g/cm , en %

RF = Rigidez a la flexión en $\mu N \cdot m$

Si un objeto plano se comprime longitudinalmente en su propio plano, se irá comprimiendo hasta que se doble o encorve (Figura 24-2). Se entiende por "formabilidad" la amplitud que un tejido puede comprimirse longitudinalmente antes de de doble o encorve.

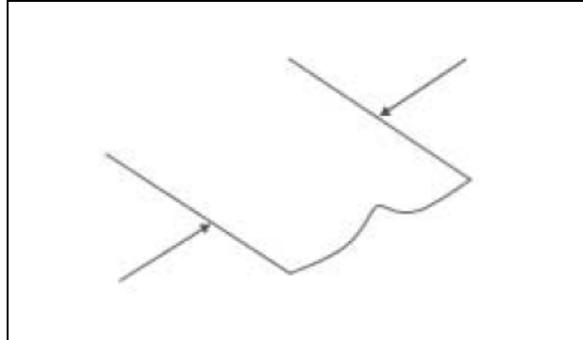


Figura 24-2. Comportamiento de un tejido cuando es sometido a una compresión longitudinal

Cuando se cose una costura, el hilo de coser comprime al tejido, si la formabilidad es alta, el tejido acepta la compresión sin doblarse y la costura tendrá un buen aspecto. La determinación de la formabilidad permite predecir el aspecto de las costuras de un tejido antes de su posterior confección.

2.3.5 FAST- 4

El FAST-4 no requiere instrumentos especiales, es sólo un método de ensayo. Sólo hace falta una estufa convencional de laboratorio y una regla. Mediante éste método se determinan las dimensiones del tejido en diversos momentos de un proceso de secado y humectación (ver figura 25-2). A partir de éstos valores pueden calcularse el encogimiento por relajación y la expansión higral. Este tipo de ensayo sólo tiene sentido realizarlo en tejidos de lana y mezclas puesto que el resto de fibras no se comporta de la misma forma.

El encogimiento por relajación (ER) es el cambio irreversible de las dimensiones que tiene lugar cuando un tejido se humecta o relaja por acción

del vapor. Este encogimiento es la consecuencia de la relajación de las tensiones o deformaciones impuestas al tejido durante el acabado y que se mantienen tan sólo por fijación temporal.

La expansión higral (EH) es el cambio reversible de las dimensiones que tiene lugar cuando el contenido de humedad de las fibras se modifica.

Durante este ensayo el tejido se somete a un ciclo de secado a 105 °C durante una hora, una posterior humectación durante 30 minutos y un posterior secado también a 105 °C durante una hora. Al final de cada uno de éstos ciclos se toma la medida de las dimensiones de la muestra de tejido, L1, L2 y L3 respectivamente (ver figura 25-2). Los cálculos de estabilidad dimensional serán:

$$\text{Encogimiento por Relajación ER (\%)} = \frac{L_1 - L_3}{L_1} \cdot 100$$

$$\text{Expansión Higral EH (\%)} = \frac{L_2 - L_3}{L_3} \cdot 100$$

Los tejidos analizados en esta tesis con el equipo FAST, no se han sido sometidos al ensayo FAST-4 dado que la información aportada por este método, no tenía interés para los objetivos de la tesis.

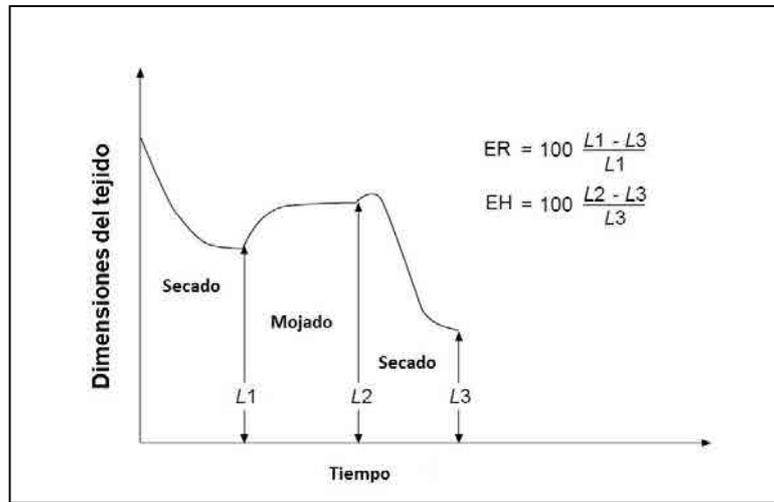


Figura 25-2. Diagrama esquemático del proceso de ensayo de estabilidad dimensional del FAST-4 (2)

2.3.6 Representación gráfica de los resultados FAST

Los resultados de cada uno de los parámetros determinados con el equipo FAST, son representados gráficamente en una escala lineal adecuada a cada parámetro, y se traza una “banda de calidad”, cuyos bordes son los límites de aceptación máximos y mínimos de cada uno de los parámetros. Estos límites se han obtenido experimentalmente al estudiar el comportamiento de los tejidos en el taller de confección en función de sus propiedades FAST. Al unir los resultados de los valores hallados de los diferentes parámetros, se obtiene una línea quebrada distinta para cada tejido que equivale a la llamada “huella dactilar”. Mientras esta línea quebrada se sitúe dentro de los límites de la banda de calidad propuesta por FAST, la confeccionabilidad del tejido será buena (ver figura 26-2).

Variable	Unidades	Significado	Cálculo
Estabilidad dimensional			
RS-1	%	Encogimiento por relajación. Urdimbre	$100 (L1 - L3)/L1$
RS-2	%	Encogimiento por relajación. Trama	$100 (L1 - L3)/L1$
HE-1	%	Expansión higral. Urdimbre	$100 (L2 - L3)/L3$
HE-2	%	Expansión higral. Trama	$100 (L2 - L3)/L3$
Extensión			
E5-1	%	Extensibilidad de la urdimbre	% a una carga de 5 gf/cm
E5-2	%	Extensibilidad de la trama	% a una carga de 5 gf/cm
E20-1	%	Extensibilidad de la urdimbre	% a una carga de 20 gf/cm
E20-2	%	Extensibilidad de la trama	% a una carga de 20 gf/cm
E100-1	%	Extensibilidad de la urdimbre	% a una carga de 100 gf/cm
E100-2	%	Extensibilidad de la trama	% a una carga de 100 gf/cm
EB-5	%	Extensibilidad al bias	% a una carga de 5 gf/cm
Flexión			
C-1	mm	Longitud de voladizo. Urdimbre	Automático
C-2	mm	Longitud de voladizo. Trama	Automático
B-1	$\mu\text{N}\cdot\text{m}$	Rigidez a la flexión de la urdimbre	$W \cdot c^3 \cdot k$

Capítulo 2

B-2	$\mu\text{N}\cdot\text{m}$	Rigidez a la flexión de la trama	$W\cdot c^3\cdot k$
Cizalladura			
G	N/m	Rigidez a la cizalladura	$G = 123 / \text{EB5}$
Formabilidad			
F-1	mm^2	Formabilidad por urdimbre	$(E20 - E5)\cdot B / 14,7$
F-2	mm^2	Formabilidad por trama	$(E20 - E5)\cdot B / 14,7$
Compresión			
T2	mm	Grosor	mm a 2 gf/cm^2
T100	mm	Grosor	mm a 100 gf/cm^2
ST	mm	Grosor superficial	$T2 - T100$
T2R	mm	Grosor relajado	mm a 2 gf/cm^2
T100R	mm	Grosor relajado	mm a 100 gf/cm^2
STR	mm	Grosor superficial relajado	$T2R - T100R$
W	g/m^2	Gramaje	$\text{g} / \text{área}$

Tabla 6-2. Tabla de las variables suministradas por el equipo FAST

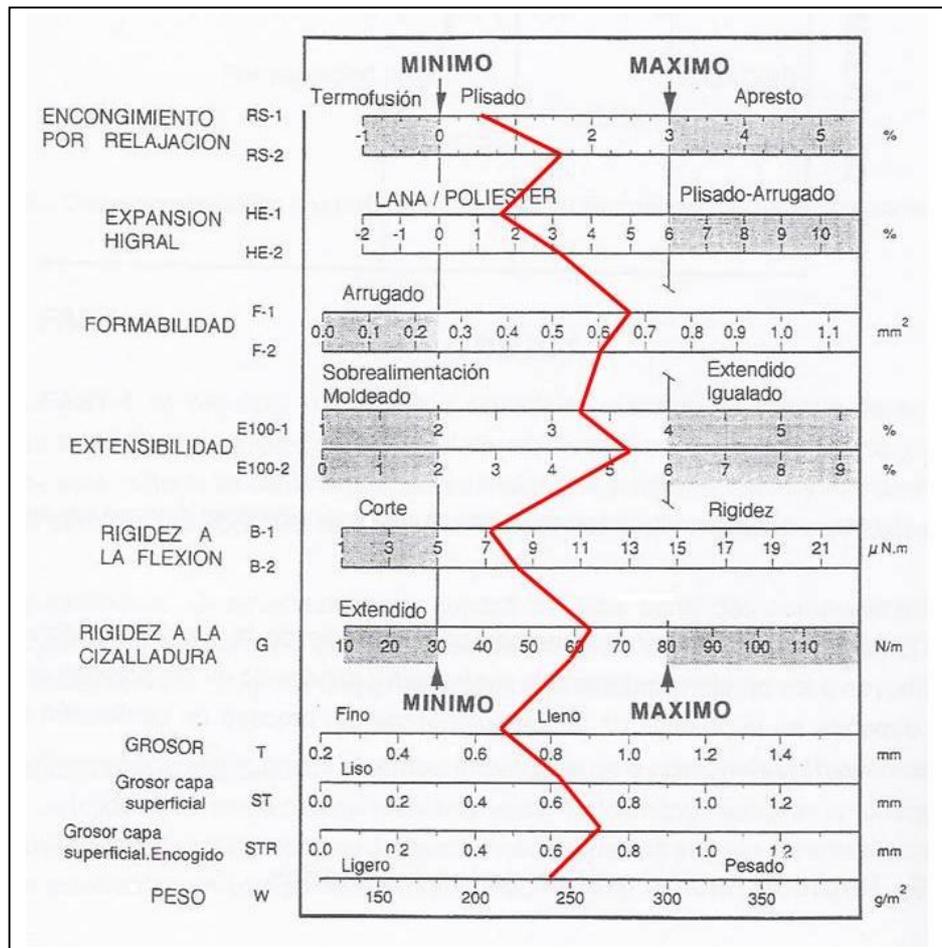


Figura 26-2. Carta de control con los resultados del ensayo FAST. (2)

2.3.7 Preparación de las probetas y muestreo

De cada tejido ensayado en esta tesis se han extraído 6 probetas de 130 x 50 mm para la realización de los ensayos de compresión (FAST-1) y extensión al bias (FAST--3), así como 3 probetas de 200 x 50 mm para el ensayo de flexión sentido urdimbre, y otras 3 más de las mismas medidas para el ensayo de flexión sentido trama (FAST-2), tal como se indica en la figura 27-2. Los

resultados obtenidos en cada tipo de tejido para su posterior estudio son el resultado de la media aritmética de las probetas analizadas.

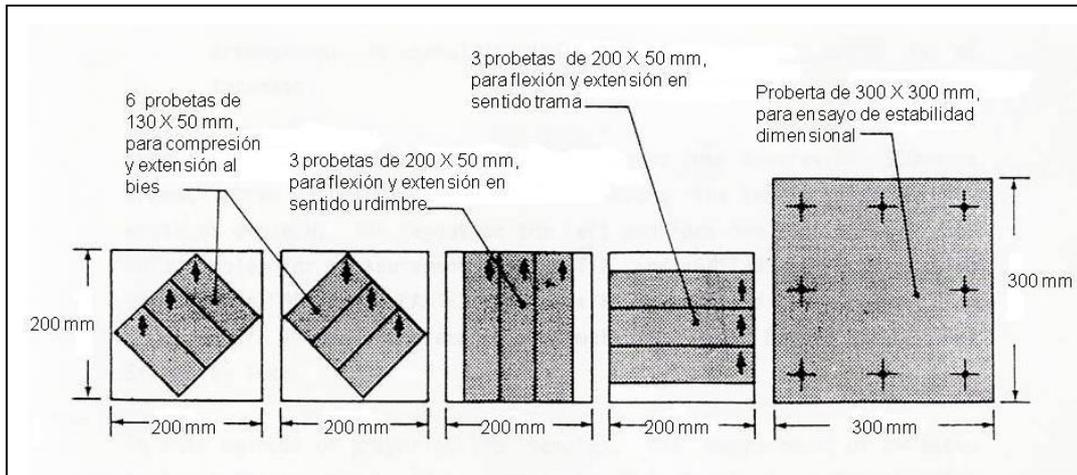


Figura 27-2. Preparación de las probetas del sistema FAST(2).

2.4 Método de ensayo KES-F

2.4.1 Introducción

En 1972, el Comité japonés para la Estandarización y Evaluación de la “Mano” de los tejidos (HESC) desarrolló una metodología propia para la medición objetiva de la “mano”. Este comité estaba auspiciado por la Sociedad de Maquinaria Textil del Japón, y estaba presidido por el Dr. Sueo Kawabata.

La necesidad que tenían los ingenieros textiles japoneses de correlacionar las medidas subjetivas con otras de objetivas, siempre y cuando la medición de éstas fuera fácil de lograr, contribuyó de forma definitiva al desarrollo del equipo de medición objetiva de la mano de los tejidos KES-F.

Las iniciales KES-F, corresponden a “*Kawabata’s Evaluating System for Fabrics*”, equipo de medición objetiva de tejidos desarrollado por el ingeniero japonés Sueo Kawabata, después de casi 30 años de investigación (figura 28-2).



Figura 28-2. Imagen del profesor Sueo Kawabata (27)

Originalmente, el objetivo del trabajo de Kawabata fue la evaluación objetiva de la “mano” del tejido (28), posteriormente se desarrolló un objetivo complementario no menos importante que consistía en poner a punto una técnica que relacionara las propiedades del tejido con la apariencia de la prenda confeccionada.

En forma resumida, el trabajo de Kawabata tenía los siguientes propósitos:

- Para un tejido con un uso final específico, decidir qué términos descriptivos son los que mejor representan los aspectos cualitativos de la mano.
- Definir cada uno de éstos términos descriptivos.

- Hacer una colección de muestras estándar que represente estas expresiones para la mano del tejido, dotándola de un rango de intensidades.

En los trajes de caballero, se hizo una diferenciación de las expresiones de mano primaria elegidas, distinguiendo si se trataba de una prenda de invierno o de verano. Los tejidos de mujer también tuvieron expresiones propias.

Los términos descriptivos que se consideraron apropiados para los tejidos destinados a trajes de invierno para caballero, fueron, por orden de importancia:

- NUMERI (lisura)
- KOSHI (rigidez)
- FUKURAMI (voluminosidad y suavidad)

y para los trajes de verano, en el mismo orden:

- SHARI (frescura)
- KOSHI (rigidez)
- HARI (rigidez anticaída)
- FUKURAMI (voluminosidad y suavidad)

y para la mujer, además:

- KISHIMI (sensación de crujiente)
- SHINAYAKASA (sensación de suavidad y flexibilidad)

La definición de cada uno de éstos términos la hicieron partiendo de la respuesta dada a las dos preguntas siguientes, formuladas para cada uno de ellos:

- ¿qué tipo de sensaciones están relacionadas con los términos descriptivos?
- ¿qué propiedades del tejido están relacionadas con la evaluación de la sensación?

Está claro que la definición de los términos descriptivos implicaba la necesaria vinculación con las propiedades mecánicas de los tejidos.

Después de hacer la definición de los términos, el comité formó muestras de tejidos que representaban valores de las expresiones o términos de mano en una escala de 0 a 10. Las calificaciones que recibía una muestra de tejido al compararse con los estándares, se consideraron valores de mano primaria (HV).

Las muestras se clasificaron en tres grupos (A, B y C) dependiendo de la intensidad de la expresión de la mano. Posteriormente, las muestras de cada una de las clasificaciones principales, son vueltas a clasificar en tres grupos nuevamente. Además de las 9 clasificaciones que son posibles de esta manera, se asignan dos más. Una, XH, a la izquierda de la de la mayor

intensidad posible; y otra, XL, colocada a la derecha de la clasificación de la menor intensidad.

De 20 muestras analizadas por tantos expertos, se calcularon la media y la desviación estándar.

El conocimiento de los estadísticos muestrales permite que el análisis de los valores de mano (HV), se pueda hacer en una escala normalizada.

A partir de las expresiones de mano primaria HV, fue necesario definir una nueva expresión que las relacione. Kawabata llamó mano total (THV) a esta expresión sumaria. Con esta nueva expresión, se podría hablar de dos posibles calificativos: “buena” o “mala”. El calificativo de mano “buena” se expresa mediante el valor total de la mano (THV).

A partir de la información recogida de 214 tejidos de invierno y 156 de verano, sometidos a la evaluación anteriormente descrita, el grupo de Kawabata obtuvo las siguientes fórmulas de equivalencia entre la mano primaria HV y la mano total THV:

Para tejidos de invierno:

$$THV = 1,2293 + 0,5904 y_1 + 0,0441 y_1^2 - 0,0517 y_2^2 + 0,6317 y_3 + 0,0506 y_3^2$$

siendo:

y_1 = HV de KOSHI

y_2 = HV de NUMERI

y_3 = HV de FUKURAMI

y para tejidos de verano:

$$THV = -1,3788 - 0,0004 y_1 + 0,0006 y_1^2 + 0,7501 y_2 - 0,0361 y_2^2 + 0,5190 y_3 - 0,0369 y_4 + 0,2555 y_4 - 0,0352 y_4^2$$

siendo:

y_1 = HV de KOSHI – verano

y_2 = HV de SHARI – verano

y_3 = HV de FUKURAMI – verano

y_4 = HV de HARI – verano

Este par de ecuaciones sólo expresan la contribución que cada valor de mano primaria HV tiene sobre el valor de la mano toral THV; aún no se había definido la forma en que se expresa la relación de los valores de mano primaria HV con las mediciones de las propiedades mecánicas de los tejidos.

2.4.2 Medición de las propiedades mecánicas del tejido

Después de un largo trabajo de investigación, Kawabata seleccionó un conjunto de propiedades mecánicas que se asocian a las deformaciones del tejido (ver figura 29-2), pensando ya en las condiciones de medición, dividiéndolas en los siguientes grupos:

Grupo 1 = Tracción

Grupo 2 = Flexión

Grupo 3 = Superficie

Grupo 4 = Cizalladura

Grupo 5 = Compresión

Grupo 6 = Masa lineal y Grosor

A pesar de que el Grupo 3 y 6 no representan propiedades mecánicas sino físicas, éstas están directamente relacionadas con las propiedades

mecánicas. Cada una de estas propiedades se expresa por un parámetro característico, tal como puede verse en la tabla 7-2.

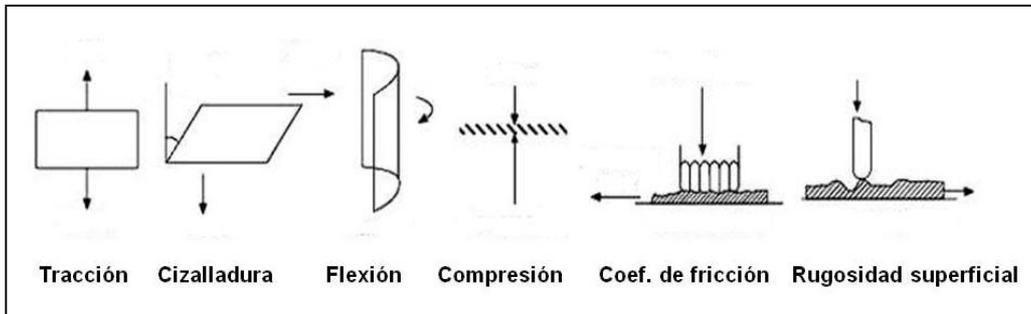


Figura 29-2. Grupos de ensayo KES-F (2)



Figura 30-2. Equipo KES-F utilizado parcialmente en esta tesis. Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil de la Universidade do Minho en Guimarães (Portugal)

Propiedades	Símbolo	Parámetro característico	Unidad
Tracción	LT	Linealidad	--
Tracción	WT	Energía de tracción	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}^2$
Tracción	RT	Resiliencia	%
Flexión	B	Rigidez a la flexión	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$
Flexión	2HB	Histéresis	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$
Cizalladura	G	Rigidez a la cizalladura	$\text{g}/\text{cm}\cdot\text{grado}$
Cizalladura	2HG	Histéresis en $\varnothing = 0,5^\circ$	g/cm
Cizalladura	2HG5	Histéresis en $\varnothing = 5^\circ$	g/cm
Compresión	LC	Linealidad	--
Compresión	WC	Energía compresional	$\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}^2$
Compresión	RC	Resiliencia	%
Superficie	MIU	Coefficiente de fricción	--
Superficie	MMD	Desviación media de MIU	--
Superficie	SMD	Aspereza geométrica	Micra
Peso y Grosor	W	Peso por unidad de área	mg/cm^2
Peso y Grosor	T	Grosor a $0,5 \text{ gf}/\text{cm}^2$	mm

Tabla 7-2. Propiedades mecánicas medidas por el equipo Kawabata, simbología utilizada, parámetros y unidades (2)

2.4.3 Tracción

La probeta de tejido es rectangular de 5 cm de largo y 20 cm de ancho, (figura 31-2). La deformación tensil se aplica en sentido longitudinal. La tensión a lo ancho de la probeta es aproximadamente cero debido a la forma rectangular de la probeta. En mecánica esta deformación se denomina biaxial. La probeta es sometida a un gradiente de tensión constante de $4,0 \times 10^{-3}$ segundos. Una vez alcanzada la tensión de 500 gf/cm se mide el proceso de recuperación, obteniéndose habitualmente una curva como la de la figura 32-2.

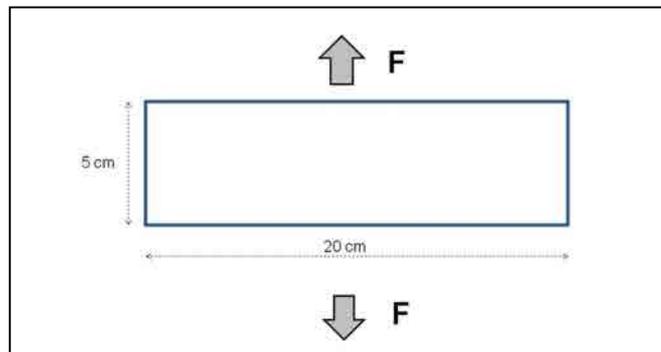


Figura 31-2. Dimensiones de la probeta del ensayo de tracción en el equipo KES-F (2)

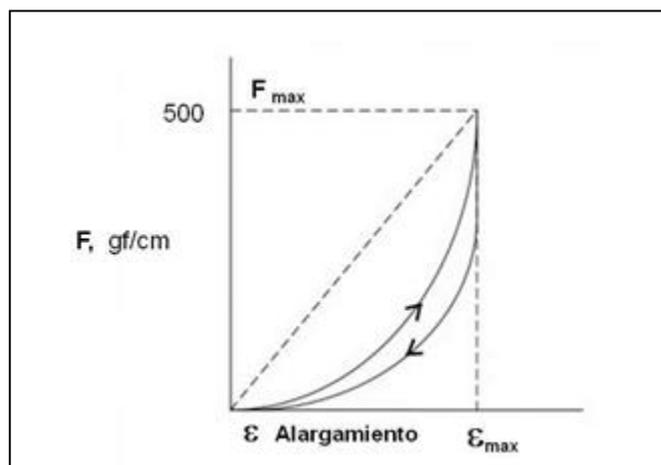


Figura 32-2. Curva tensión-alargamiento del ensayo de tracción del equipo KES-F.(2)



Figura 33-2. Unidad de medida de la tracción y cizalladura del equipo KES-F del Laboratorio de física textil de la Universidade do Minho en Guimarães (Portugal)

Los parámetros característicos de este ensayo son:

LT = Linealidad (sin unidades)

WT = Energía tensil por unidad de área ($\text{g}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$)

RT = Resiliencia (%)

Y estos parámetros característicos se definen como:

$$LT = WT/WOT$$

$$WT = \int_0^{\epsilon_m} F \cdot d\epsilon \quad (\text{g}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2)$$

$$RT = \frac{WT'}{WT} \cdot 100$$

donde:

$$WOT = \frac{F_m \cdot \varepsilon_m}{2} \quad (\text{área rodeada por la línea punteada})$$

F = Fuerza de tracción por unidad de ancho (g/cm)

ε = Alargamiento correspondiente a la carga aplicada, no se expresa en %

F_m y ε_m = valores máximos de F y ε respectivamente

$$W'T = \int_0^{\varepsilon_m} F' \cdot d\varepsilon \quad (\text{energía recuperada por unidad de área})$$

F' = Fuerza tensil en el proceso de recuperación (g/cm)

Si la tensión se aplica en el sentido de la urdimbre, los parámetros característicos se reconocen por el subíndice 1 y si es en sentido trama por el subíndice 2 (WT_1 , RT_1 , WT_2 , RT_2 ...). Para el cálculo de la mano se utilizará el promedio entre los valores de urdimbre y trama.

ε_m se utiliza con frecuencia y usualmente ε_{m1} y ε_{m2} se expresan de forma abreviada como ε_1 y ε_2 respectivamente. Esta es la relación entre ellos de tal manera que:

$$\varepsilon_m = \frac{2 (WT)}{(LT) \cdot F_m} = \frac{(WT)}{250 (LT)}$$

2.4.4 Flexión

La probeta tiene unas dimensiones efectivas de 2,5 cm de largo por 1 cm de ancho, la cual se flexiona tal como muestra la figura 34-2, 35-2 y 36-2.



Figura 34-2. Unidad de medida de la flexión en el equipo KES-F del Laboratorio de parametría física textil. Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Terrassa. Universitat Politècnica de Catalunya

La flexión pura entre las curvas $K = - 2,5$ y $2,5$ (cm^{-1}) con un incremento constante del cambio de curvatura. Este incremento es de $0,5$ (cm^{-1})/segundo. La probeta se coloca de forma vertical tal como se indica en la figura 62 para evitar el efecto de la fuerza de la gravedad.

Los parámetros característicos son:

Capítulo 2

B = Rigidez a la flexión por unidad de longitud ($\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$)

$2HB$ = Momento de histéresis por unidad de longitud ($\text{g}\cdot\text{cm}/\text{cm}$)

B es la pendiente de la curva $M - K$ donde M es el momento de flexión por unidad de longitud de la probeta. En este caso se ha vuelto a definir B y HB para estandarizar la medición:

B se define como la pendiente entre $K = 0,5$ para B_f y $K = - 0,5$, y $- 1,5$ para B_b respectivamente.

Por otra parte B_f , B_b , B_1 y B_2 de acuerdo con la figura 36-2 se definen como:

B_f = valor de la rigidez a la flexión del haz del tejido.

B_b = valor de la rigidez a la flexión del envés del tejido

B_1 = valor de la rigidez a la flexión de la urdimbre

B_2 = valor de la rigidez a la flexión por trama

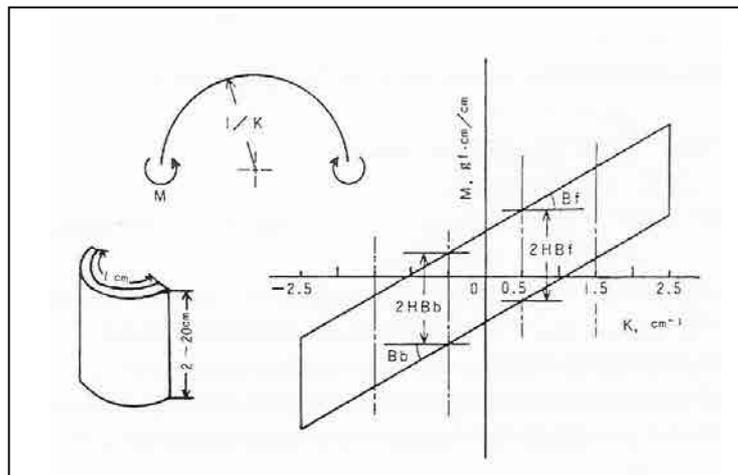


Figura 35-2. Forma de flexionar la probeta del ensayo de flexión y representación gráfica de los resultados del ensayo en el equipo KES-F. (2).

Definimos también como curvatura positiva la flexión por el haz y curva negativa la flexión por el envés. Si la curva obtenida es como la de la figura 35-2, tanto la rigidez a la flexión el haz como del envés pueden ser medidas al mismo tiempo. $2HB$ significa el doble del valor HB y puede medirse como la amplitud de la histéresis.

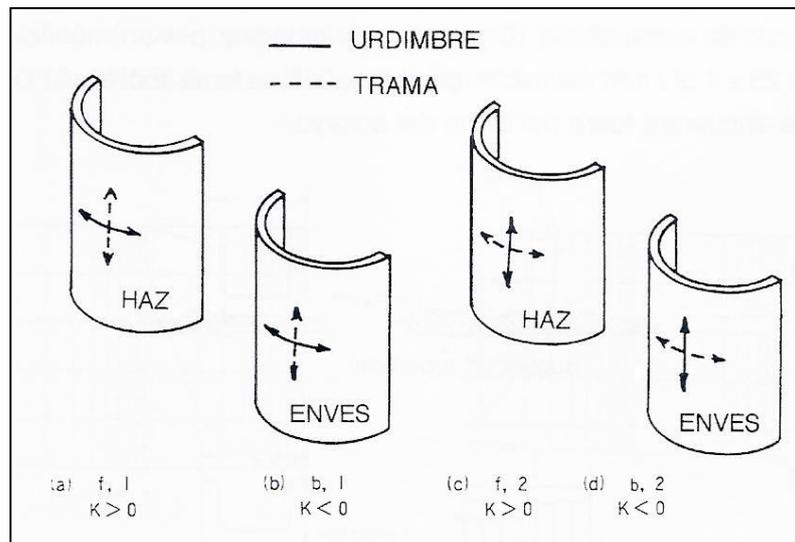


Figura 36-2. Forma de flexionar la probeta del ensayo de flexión con el equipo KES-F, f = haz, b = envés. (2)

En este caso definiremos los siguientes conceptos:

$2HB$ es el valor medio de la amplitud de la histéresis comprendida entre $K = 0,5$ y $1,5$ para $2HB_f$ y $K = -0,5$ y $-1,5$ para $2HB_b$. Al mismo tiempo tendremos también $2HB_f$, $2HB_b$, $2HB_1$ y $2HB_2$.

Para el cálculo de la mano primaria (HV) se utilizará la media de los valores correspondientes a f_1 , f_2 , b_1 y b_2 . Sin embargo si es necesario pueden utilizarse separadamente en función de la propiedad que queramos valorar.

2.4.5 Cizalladura

Las dimensiones de la probeta (20 x 5 cm) se muestran en la figura 37-2 donde puede verse la deformación de cizalladura (o distorsión lateral) que sufre el tejido durante este ensayo.

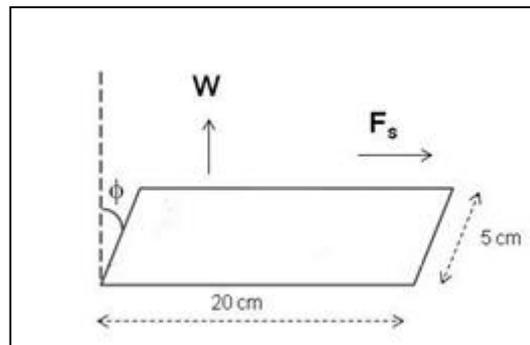


Figura 37-2. Dimensiones de la probeta y distorsión lateral del tejido por acción del esfuerzo de cizalladura sometido a la probeta en el ensayo de cizalladura del equipo KES-F (2)

Tal como puede verse en la figura 37-2, la tensión W (constante) se aplica en el sentido ortogonal a la fuerza de cizalladura. Esta deformación se produce cuando se solapa la deformación biaxial y la cizalladura. La velocidad de cizallado es de 0,417 mm/segundo y el recorrido realizado por la tensión de cizalladura es de 0,00834/segundo.

Los parámetros característicos de este ensayo son:

G = Rigidez a la cizalladura (g/cm·grados)

$2HG$ = Histéresis a un ángulo de deformación de cizallado $\phi = 0,5$ grados (g/cm)

$2HG5$ = Histéresis a un ángulo $\phi = 5$ grados (g/cm)

Nótese que G no es el módulo de rigidez. En este caso G , se define como (fuerza de cizalladura por unidad de longitud/ángulo de cizalladura). En la figura 38-2 puede verse como la pendiente de $F\phi$ es igual a G . En las mediciones estándar, la pendiente se mide entre $\phi = 0,5^\circ$ y 5° . Si la curva no fuera lineal en esta zona, se debe tener en consideración el valor medio de la pendiente.

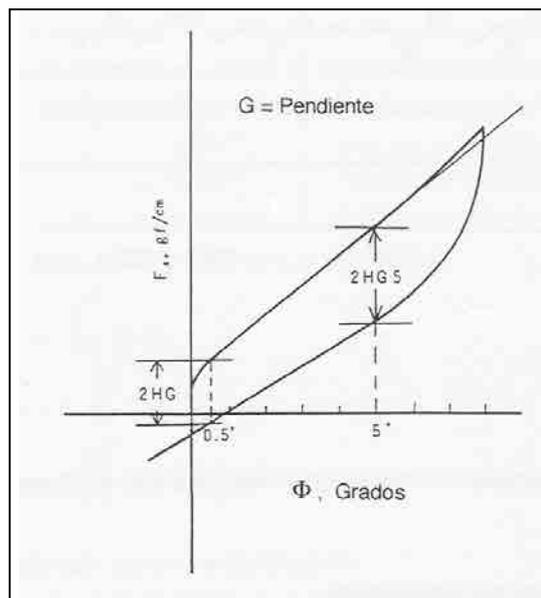


Figura 38-2. Representación gráfica de la deformación de la cizalladura y su histéresis en el equipo KES-F.(2)

En las mediciones estándar, se mide mediante G_f . Siendo G_f el valor de G cuando la cara de la probeta es el haz de la muestra. Si consideramos la fuerza de la cizalladura en lugar del ángulo para definir el parámetro G , entonces este valor es igual al módulo de cizalido y es definido (fuerza de cizalladura F_s (g/cm) / (fuerza de cizalladura = $\tan \phi$). Las unidades son g/cm, la relación entre los dos valores de G definidos por $\tan \phi$ y por los grados es:

$$G (\tan \phi) = 57,30 G (\text{grados } \phi)$$

En probetas que no tengan una estructura de tejido simétrica, la curva de deformación de cizalladura será diferente entre la zona positiva y negativa. En este caso concreto, es necesario realizar la medida de ambas regiones, utilizándose la media para los ensayos estándar.

2.4.6 Compresión

Dado que el área de compresión es un círculo de 2 cm^2 , la probeta ha de ser un rectángulo de 2,5 cm de largo y 2 cm de ancho, tomadas en sentido urdimbre o trama.



Figura 39-2. Unidad de medida del grosor en el equipo KES-F del Laboratorio de parametría física textil. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de Terrassa. Universitat Politècnica de Catalunya

La probeta de tejido se comprime entre dos placas circulares de acero de 2 cm². La velocidad de compresión es de 20 micras/segundo y la presión alcanza un nivel de 50 g/cm². El proceso de recuperación se mide a la misma velocidad. Para tejidos delgados (ligeros) de caballero, la velocidad de medida de éste parámetro se reduce a 6,66 micras/segundo.

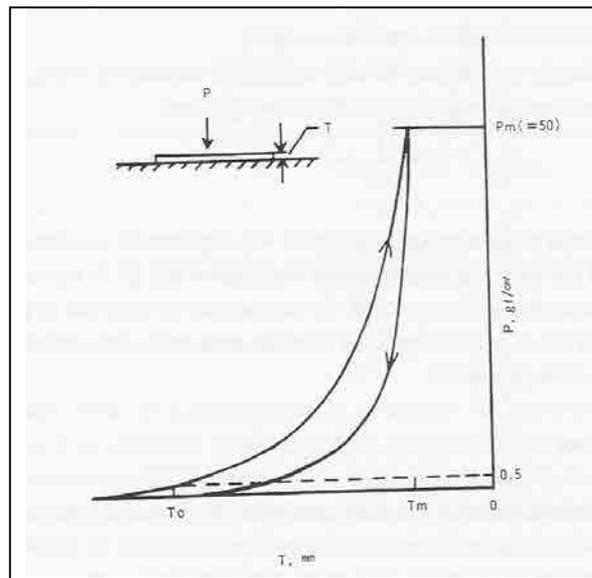


Figura 40-2. Propiedades de compresión. Expresión gráfica de los resultados del ensayo. (2)

Los parámetros característicos de este ensayo son (ver figura 39-2 y 40-2):

LC = Linealidad (sin unidades)

WC = Energía necesaria para la compresión (g·cm/cm²)

RC = Resiliencia (%)

siendo:

$$LC = WC / WOC$$

$$WC = \int_{T_m}^{T_0} P dT$$

$$RC = WC' / WC$$

donde:

T = grosor de la probeta

T_0 = Grosor de la probeta a la presión de $0,5 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{cm}$

T_m = Grosor de la probeta a la presión $P_m = 50 \text{ g/cm}$

$$WOC = P_m (T_0 - T_m) / 2$$

WC' = Energía recuperada en el proceso de recuperación P'

$$WC' = \int_{T_m}^{T_0} P' dt$$

2.4.7 Superficie

El tamaño de la probeta será de 20 cm de largo y 3,5 cm de ancho, sin embargo esta medida es sólo nominal dado que en el ensayo se utilizará una superficie de medida de 2 cm de largo por 0,5 cm de ancho.

La medición de la fricción superficial y la rugosidad se realiza de la manera siguiente: el cabezal para la medida de la rugosidad superficial está hecho de cuerda de piano de acero de un diámetro de 0,5 mm. La forma de la cuerda se indica en la figura 41-2 (a) y trabaja con una fuerza de contacto de 10 g ($\pm 0,5$ g), activada por un muelle-resorte de una constante de $25 \pm 1 \text{ g/mm}$. La frecuencia natural del sistema sobrepasa los 30 Hz cuando el cabezal se encuentra fuera del límite del ensayo.

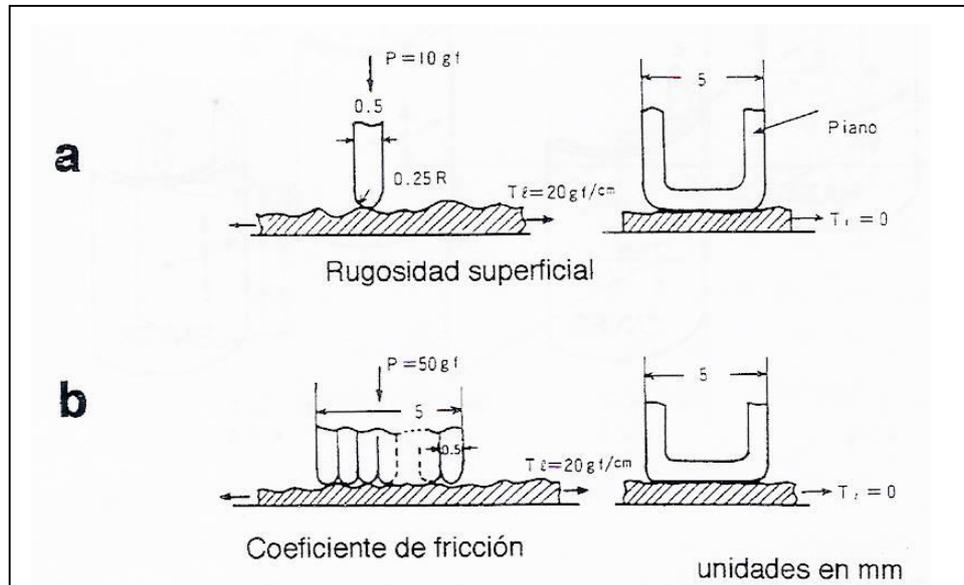


Figura 41-2. Cabezales de medición de las propiedades superficiales del KES-F. (2)

La fricción superficial se mide mediante un cabezal formado por la unión de 10 piezas de cuerda de piano (ver figura 41-2 (b), del mismo tipo que el usado en el cabezal de la rugosidad, dispuestas de tal manera que rocen con la superficie del tejido con una fuerza de compresión de 50 g de peso muerto. Tanto en la medida de la rugosidad como de la fricción superficial, la probeta se desplaza un intervalo de 2 cm a una velocidad constante de 0,1 cm/segundo sobre una placa de acero plana colocada horizontalmente, que somete a la probeta a una tensión de 20 g/cm.

Los parámetros característicos son (ver figura 42-2 y 43-2):

Medida de la fricción:

MIU = Valor medio del coeficiente de fricción (sin unidades)

MMD = Desviación media del coeficiente de fricción (sin unidades)

Medida de la rugosidad:

SMD = Desviación media de la rugosidad superficial (del grosor de la rugosidad, unidades = micras)

Las definiciones de *MIU*, *MMD* y *SMD* son las siguientes:

$$MIU = \frac{1}{X} \int_0^X \mu \, dx$$
$$MMD = \frac{1}{X} \int_0^X |\mu - \bar{\mu}| \, dx$$
$$SMD = \frac{1}{X} \int_0^X |T - \bar{T}| \, dx$$

donde:

μ = Fuerza friccional / fuerza de compresión

x = desplazamiento del cabezal en la superficie de la probeta

X = 2 cm tomado para la medición estándar

T = Grosor de la probeta en la posición x , el grosor es medido por este cabezal

\bar{T} = Valor medio de T

MIU, *MMD* y *SMD* pueden darse en sentido urdimbre (1), trama (2), haz y envés. Al igual que en los ensayos de flexión estos se identificarán como *MIU_{f1}*, *MIU_{f2}*, *MIU_{b2}*, etc..

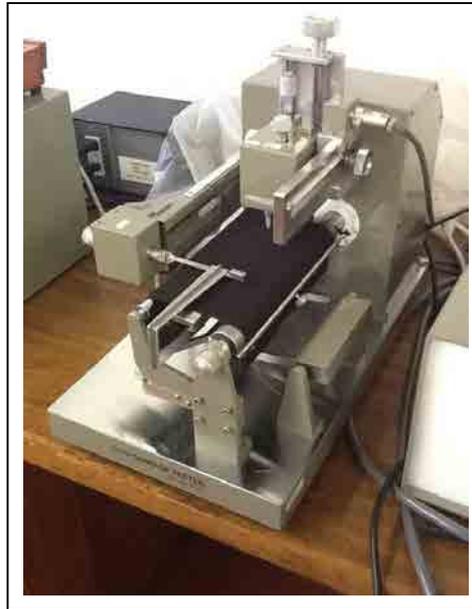


Figura 42-2. Unidad de medida de las propiedades superficiales del equipo KES-F del Laboratorio de física textil de la Universidade do Minho en Guimarães (Portugal).

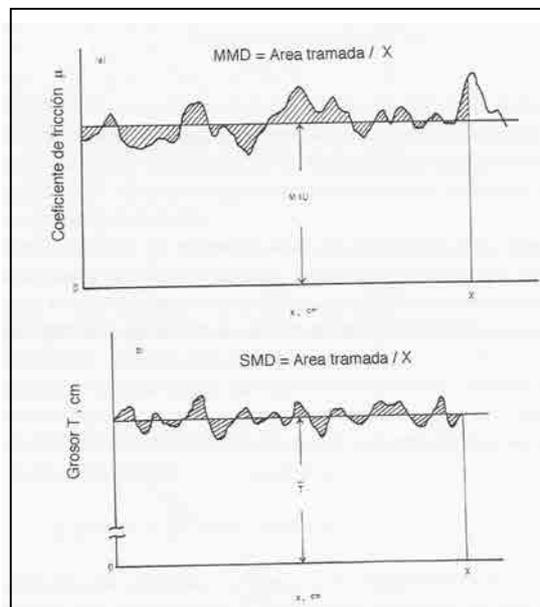


Figura 43-2. Expresión gráfica de las propiedades superficiales. (a): fricción superficial, (b): rugosidad superficial, en el equipo KES-F (2).

2.4.8 Grosor y gramaje

Durante el ensayo de las propiedades de compresión del tejido, se mide su grosor T a una presión $P = 0,5 \text{ g/cm}^2$, y el resultado se expresa en mm. El gramaje se expresa en peso por unidad de superficie de la probeta.

Los parámetros característicos son:

T = grosor a la presión de $0,5 \text{ g/cm}^2$ (mm)

W = peso por unidad de superficie (mg/cm^2)

2.4.9 Muestreo realizado

Las probetas se han cortado de acuerdo con las dimensiones descritas en cada apartado del ensayo KES-F, y el número de muestras analizadas en cada ensayo se indican en la tabla 8-2.

Ensayo	Probetas ensayadas	Ensayo	Probetas ensayadas
Tracción	5 urdimbre 5 trama	Compresión	3
Flexión	5 urdimbre 5 trama	Superficie	5 urdimbre 5 trama
Cizalladura	5 urdimbre 5 trama	Gramaje	5
		Grosor	5

Tabla 8-2. Número de probetas ensayadas en cada apartado del ensayo KES-F

2.4.10 Relación entre los parámetros objetivos y subjetivos

Una vez efectuada la evaluación de los parámetros subjetivos y los objetivos (propiedades físico-mecánicas) se emprendió la tarea de relacionar los parámetros objetivos con los valores de mano asignados por los expertos.

Para ello se seleccionaron los valores de mano con los resultados objetivos empleando el procedimiento de regresión por etapas en bloques, estableciendo las relaciones matemáticas entre los grupos de propiedades estimadas objetivamente y los parámetros subjetivos.

Así se llegó a una serie de ecuaciones que traducían los resultados objetivos en los tres valores de mano primaria (HV) y a partir de éstos la mano total (THV), substituyendo por completo el procedimiento de valoración subjetiva.

Con este sistema se dota a los distintos sectores del proceso textil de un lenguaje común para discutir características técnicas y comerciales de los tejidos, pudiendo así valorar la oportunidad de efectuar determinados procesos de acabado para mejorar la capacidad de confección de un artículo, o dotarles de mejores características de confort.

2.5 Ensayo anillo-UPC

2.5.1 El método del anillo y sus diversas evoluciones

Los percusores de éste método y sus evoluciones, afirman que se trata de un ensayo sencillo y rápido que simula de forma eficaz la tradicional forma de pasar el tejido por el interior de la mano semicerrada (figura 37-2). Así se ha percibido tradicionalmente tanto la suavidad del tejido al rozar con la piel como su rigidez a la deformación multiaxial. De hecho, en la edad media, las

mujeres evaluaban la suavidad de los tejidos de seda, haciéndolos pasar por el interior de sus anillos (29).



Figura 44-2. Trevor Mahar investigador del Australian Wool Testing Authority (AWTA), mostrando la forma tradicional de determinación de la mano de los tejidos de alta calidad al hacerlos pasar por el interior de la mano semicerrada (61).

El método consiste en hacer pasar una probeta circular de tejido por el interior de un anillo metálico de dimensiones predeterminadas y determinar el esfuerzo necesario para extraer el tejido (Figura 44-2). A finales de los años 70 del siglo XX, se registró una patente en Estados Unidos sobre un método de ensayo y un aparato para medir cuantitativamente la mano de los tejidos y otros materiales flexibles (30). El método media la fuerza de extracción necesaria para que una probeta de tejido atravesara un orificio de forma cónica de un grosor y diámetro determinados. Posteriormente, se desarrolló un método de ensayo basado en el principio del anillo cuyos resultados presentaban una buena relación con la evaluación subjetiva de la mano (31 y 32), realizándose una primera interpretación detallada de las curvas fuerza-extracción que presentaban los tejidos al atravesar el anillo (33).

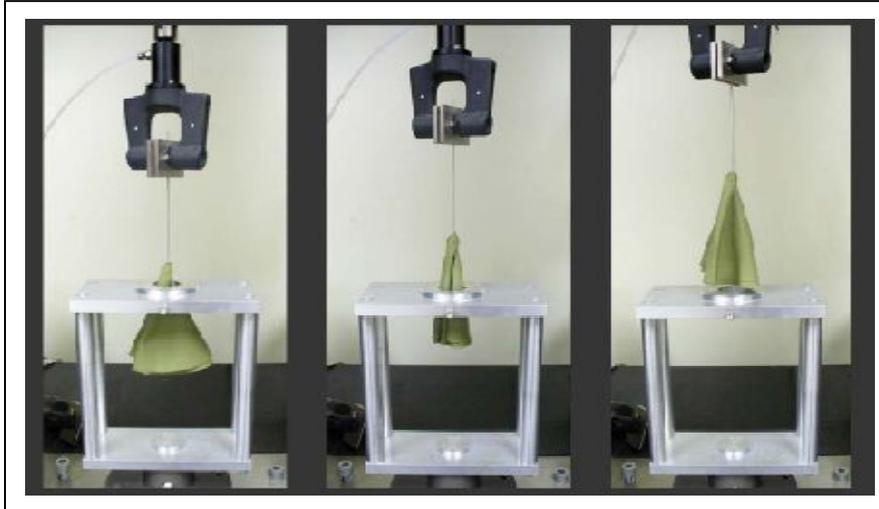


Figura 45-2. Ensayo convencional del anillo (34)

Desde entonces, varios investigadores han desarrollado adaptaciones de éste ensayo con diversas variaciones en relación a la forma y diámetro del anillo. Mediante un dinamómetro tipo INSTRON, se determinó la fuerza necesaria para extraer una probeta circular de tejido de 25 cm de diámetro por el interior de un anillo metálico de acabado pulido de 2 cm de diámetro por otros 2 cm de altura (figura 45-2), obteniendo la fuerza máxima de extracción de diferentes tejidos que se denominó fuerza de la mano obteniendo correlaciones notables con los parámetros KES-F de estos tejidos (29). Otros autores utilizaron el mismo método descrito anteriormente para determinar la mano de tejidos tratados con distintos tipos de acabados concluyendo que el método era adecuado tanto para la determinación de la mano total como para los cambios derivados de la estructura de los tejidos, acabados o humedad de los mismos (35).

En el marco de un amplio estudio sobre el confort de los tejidos, se desarrolló el “El Mogahzy-Kilinc hand method” basado en el ensayo del anillo descrito anteriormente pero con unas pequeñas modificaciones que lo mejoran notablemente (36 y 37). La principal diferencia de éste método con los anteriores reside en el cabezal por donde pasa el tejido el cual está formado por un pequeño tubo de material flexible terminado en un semicono invertido del mismo material. El cabezal de análisis está montado en un analizador mecánico de pequeñas deformaciones equipado con control digital y un software específico (38 y 39). El equipo obtiene la curva fuerza de extracción-tiempo denominada perfil de la mano. Al final del ensayo el equipo calcula la energía necesaria para extraer la totalidad del tejido, parámetro denominado mano total objetiva.

Este tipo de ensayos, sin embargo, presentan una alta variación en los resultados de la fuerza de extracción debido a la alta variabilidad en la configuración del plegado de las probetas. Con el fin de reducir esta variabilidad y controlar mejor la formación de pliegues durante la extracción de la probeta, a partir del año 2000 se desarrollaron nuevas técnicas de ensayo que conservando el mismo principio que el ensayo del anillo introducían un mayor control de la probeta. En éste método, el tejido se hace pasar por un orificio circular de radio variable, quedando la probeta retenida por dos discos paralelos a una distancia ajustable entre ellos (40, 41 y 42). El ajuste y aplicación de este método de ensayo para la evaluación de la mano, ha producido una abundante literatura tanto para tejidos de calada y tejidos de punto como para membranas diversas (43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52).

Basándose en las investigaciones de diversos equipos (53 y 54), la empresa americana Nu Cybertek Inc, ha desarrollado el PhabrOmeter (Figura 46-2), equipo que realiza de forma automática el ensayo de extracción de una probeta circular de tejido basándose en el principio del anillo, obteniendo la

curva extracción-tiempo y a partir de ella deduce nuevos indicadores como el “Relative Hand value”, “Drape Index” y el “Wrinkle Recovery Rate” (55) habiéndose publicado ya algún estudio sobre su aplicación (56).



Figura 46-2. Imagen del PhabrOmeter (57)

Existe otro método similar al ensayo del anillo pero consistente en determinar el esfuerzo necesario para introducir un tejido, papel o film de plástico a través de una rendija o anillo. Este tipo de ensayo se utiliza básicamente para determinar la blandura de papeles sanitarios. El equipo más conocido es el Handle-O-Meter (58 y 59) (Twing-Albert, 2012), para ensayos de papel y el Handmeter para textiles (60) si bien éste último apenas se ha utilizado.

2.5.2 Método anillo-UPC

En esta tesis se propone una simplificación del ensayo del anillo, descrito anteriormente, mediante la utilización de un diámetro y grosor de anillo universal para cualquier tipología de tejido de calada que permita su fácil

aplicación mediante un dinamómetro convencional por las industrias textiles. La modificación de éste método, que denominamos “Método anillo-UPC” ha de suministrar información suficientemente significativa y relevante sobre algunos aspectos de la mano, confeccionabilidad o cayente de los tejidos que permita substituir, parcialmente los equipos de evaluación indirecta de la mano utilizados hasta ahora y que resultan sofisticados, lentos y caros.

Para ello, se han estudiado las relaciones entre las propiedades físico-mecánicas de una muestra de tejidos de calada comerciales medidos con los equipos: drapómetro digital-UPC, FAST y KES-F y las obtenidas con la modificación del método del anillo diseñado en esta tesis por los autores, cuyos resultados se muestran en capítulos posteriores.

En cuanto al ensayo del anillo-UPC el cabezal de ensayo es un anillo de acero inoxidable pulido de sección circular y un grosor de 4 mm que está sujeto a una estructura externa que lo mantiene fijo. El cabezal de ensayo (anillo) está firmemente sujeto, tanto a la mesa de trabajo donde se encuentra el dinamómetro, como a la estructura de éste, lo cual garantiza la estabilidad geométrica del sistema de ensayo. Por otra parte, al finalizar cada ensayo, la mordaza superior del dinamómetro regresa automáticamente a la posición inicial, reduciendo la necesidad de verificar el calibrado de la geometría del ensayo, que sin embargo, se realiza igualmente al iniciar una nueva serie de ensayos de un tipo de tejido distinto. El anillo se sitúa bajo la vertical de la mordaza superior del dinamómetro convencional, posición que previamente se ha calibrado.

Se han utilizado probetas de tejido circulares de 30 cm de diámetro de las mismas dimensiones que las utilizadas para el ensayo del cayente mediante el Drapómetro digital UPC. A partir de esta dimensión de probeta, se ha buscado

un diámetro del anillo universal que permitiera la extracción del tejido a través suyo sin forzar excesivamente la probeta para un amplio espectro de tejidos comerciales. Dado que el objetivo principal de la modificación del ensayo del anillo propuesta en este estudio, no es estudiar detalladamente la parte de la curva carga-deformación que explica el fenómeno del cayente, la rigidez a la flexión, el coeficiente de fricción estático y dinámico del tejido cuando roza con elementos externos o bien la fricción interna durante el ensayo, sino la fuerza máxima de extracción, se ha utilizado un anillo formado por una varilla de sección circular. Este diseño, a diferencia de otros métodos descritos anteriormente, minimiza la influencia de las propiedades del tejido que no están relacionadas con su deformación multiaxial. Después de realizar pruebas con diferentes diámetros se observó que un anillo de 36 mm de diámetro interno i 4 mm de grosor, cumplía con éstos requisitos.

En el ensayo, se atraviesa la probeta por su centro geométrico mediante una aguja metálica rígida de 80 mm de longitud y 2 mm de grosor. En su extremo inferior una pieza en forma de "T" invertida retiene la probeta. La aguja metálica es sujeta por la mordaza superior del dinamómetro tal como puede verse en la (Figura 47-2 izquierda) donde se muestra la probeta al inicio del ensayo. Se pone en marcha el dinamómetro y la mordaza superior realiza un movimiento ascendente a una velocidad de 100 mm/min. Dado que el tejido todavía no roza con el anillo, la curva fuerza de extracción-desplazamiento de la mordaza no presenta ninguna pendiente (figura 48-2). Cuando la probeta empieza a rozar el anillo (Figura 49-2, imagen 3) la curva empieza a subir con una pendiente que es función de la fuerza de extracción. El ensayo finaliza con la extracción total de la probeta del anillo.

El dinamómetro registra la curva fuerza de extracción-desplazamiento de la probeta (o tiempo) que permite en primer lugar determinar la distancia entre el inicio del ensayo y el momento en el que empieza a rozar la probeta con el

anillo (figura 49-2 imagen 1). Este punto del registrador corresponde a la distancia (h) de la figura 49-2, imagen 3). Asimismo puede determinarse la fuerza máxima de extracción y el tiempo transcurrido.

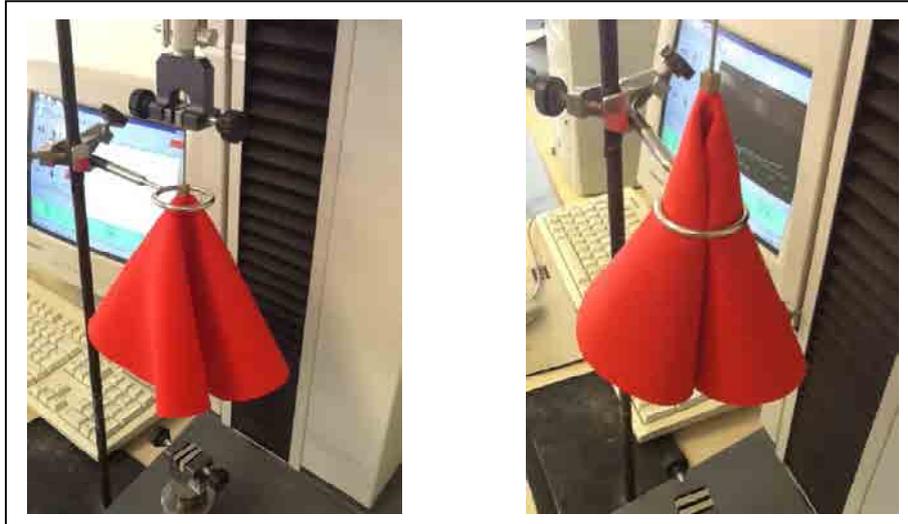


Figura 47-2. Secuencia del ensayo del anillo-UPC. (a: izquierda): inicio del ensayo y (b derecha: durante el ensayo)

En este método se han analizado, para cada tejido, un total de 4 probetas circulares de 30 cm de diámetro (de las mismas dimensiones que para el ensayo del cayente), tanto por el haz como por el envés, calculando los valores medios de los 8 ensayos y determinando:

- a) la fuerza máxima de extracción F_{\max} , (mN)
- b) desplazamiento necesario para alcanzarla DF_{\max} , (mm)

c) la distancia (h) en mm, entre el inicio del ensayo y el punto donde la probeta toca el aro (figura 49-2, imagen 3)

e) ángulo de contacto α ($^{\circ}$) (figura 49-2, imagen 3). Calculado trigonométricamente a partir de la altura global de contacto (h) y el radio del anillo (r).

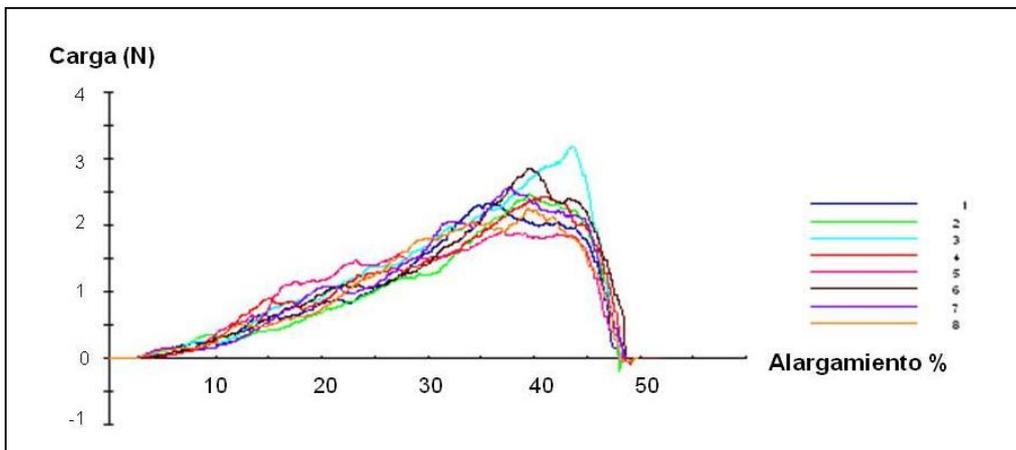


Figura 48-2. Curva: Fuerza de extracción-desplazamiento del Tejido B2482

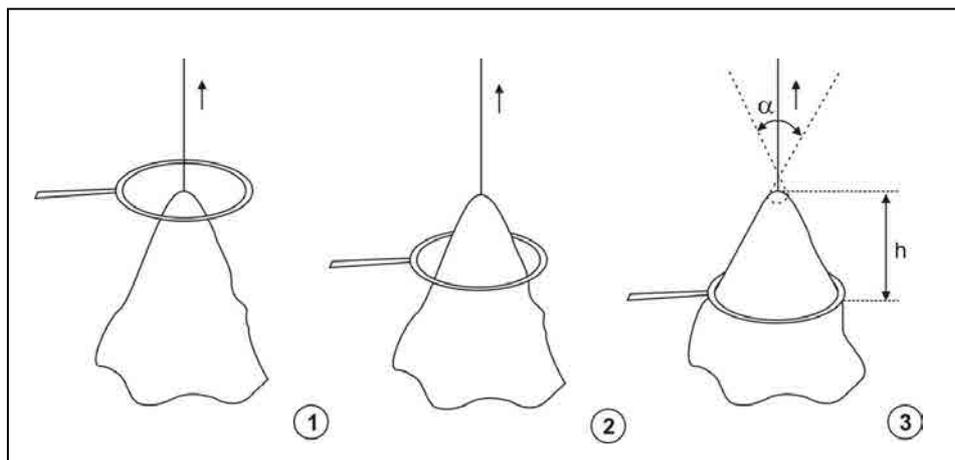


Figura 49-2. Diversas fases del ensayo del anillo-UPC

Los ensayos se han realizado en atmósfera estándar y con las probetas acondicionadas en el Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya.

3. Métodos numéricos utilizados

En esta tesis se han utilizado los siguientes métodos numéricos:

- a) Análisis de correlaciones canónicas
- b) Análisis de conglomerados (clúster)
- c) Diseños factoriales
- d) Modelos de regresión lineales
- e) Dimensión fractal por el método “Box-Counting”
- f) Análisis de las series de Fourier

Para su aplicación se han utilizado los programas MINITAB 16, Statgrafics Centurion y MATLAB.

4. Bibliografía

- (1). De Boos, A., Tester, D. *SiroFAST. A System for Fabric objective Measurement and its Application in Fabric and Garment Manufacture*. Report No. WT97.02 CSIRO Australia 1994: 35 p.
- (2). Naik, A.; Carrera, E. *Medición Objetiva De Tejidos*. . A.Naik & E.Carrera ed., Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1996. ISBN 84-605-4953-4.
- (3). Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Correlation Analysis between a Modified Ring Method and de FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9 (1), 2014. (en prensa).
- (4). Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Assessment of drape indicators for woven fabrics. *Textile Research Journal* (en prensa).
- (5). Chu, C. C.; Cummings, C. L., Teixeira, N. A. Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Part V: A Study of the Factors Affecting the Drape of Fabrics. the Development of a Drape Meter. *Textile Research Journal*, 1950, vol. 20, pp. 539-548.
- (6). Cusick, G. E. The Resistance of Fabrics to Shearing Forces. *Journal of Textile Institute*, 1961, vol. 52, pp. 395-406.
- (7). Cusick, G. E. *A Study of Fabric Drape*. University of Manchester, 1962.
- (8). Cusick, G. E. The Measurement of Fabric Drape. *Journal of the Textile Institute*, 1968, vol. 59, no. 6, pp. 253-260.
- (9). Allied Vision Technologies. *Guppy F-033B*. <http://www.alliedvisiontec.com/us/products/cameras/firewire/guppy/f-033bc.html>. Consultado el 14 de mayo de 2013.
- (10). (15). Lo, W. M.; Hu, J. L.; Li, L. K. Modelling a Fabric Drape Profile. *Textile Research Journal*, 2002, vol. 72, no. 5, pp. 454-463.
- (11). Chu, C. C., Milton, M. P., Hamburger, W. J. Investigation of the Factors Affecting the Drapeability of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1960, vol. 20, pp. 66-67.

- (12) Stylios, G. K., Zhu, R. The Characterisation of the Static and Dynamic Drape of Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 1997, vol. 88, no. 4, pp. 465-475.
- (13). Stylios, G; Wan, N, T. R. A New Collision Detection Algorithm for Garment Animation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1998, vol. 10, no. 1, pp. 38-49.
- (14). Jeong, Y. J. A Study of Fabric-Drape Behaviour with Image Analysis Part I: Measurement, Characterisation, and Instability. *Journal of the Textile Institute*, 1998, vol. 89, no. 1, pp. 59-69.
- (15). Robson, D., Long, C. C. Drape Analysis using Image Techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2000, vol. 18, no. 1, pp. 1-8.
- (16). May-Plumlee, T., Eischen, J., Kenkare,N., Pandurangan, P. *Evaluating 3D Drape Simulations: Methods and Metrics*. Edinburgh ed. , 22-24 September 2003.
- (17). Jevsnik, S. Gersak, J. Modelling the Fused Panel for a Numeric Simulation of Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2004, vol. 12, pp. 47.
- (18). Park,C.K., Kim, S., Yu, W.R. Quantitative Fabric Drape Evaluation System Using Image Processing Technology (Part 1: Measurement System and Geometric Model). *Journal of Testing Evaluation*, 2004, Vol 32 (2), pp-131-137
- (19). UAM. "Procesamiento digital de señal. Análisis de Fourier en tiempo continuo". <http://arantxa.ii.uam.es/~taao1/teoria/tema4/tema4.pdf>. Consultado el 21 de mayo de 2013.
- (20). Sharma, K.S., Behera,B.K., Roedel,H., Schenk, A. Effect of sewing and fusing of interlining on drape behaviour of suiting fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*. Vol 17 (2), 2005, pp:75-90.
- (21) Mizutani, C., Amano, T., Sakaguchi, Y. A New Apparatus for the Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75, no. 1, pp. 81-87.
- (22). Jevsnik, S., Zunic-Lojen, D. Drape Behaviour of Seamed Fabrics. *Fibers and Polymers*, 2007, vol. 8, no. 5, pp. 550-557.
- (23). Payvandy, P. *Evaluation of Fabric Drape Using Image Processing and Fractal Dimension*. MVIP, 2011. The 7th Iranian Conference on Machine Vision

and Image Processing. Iran University of Science and Technology. 16-17 november 2011.

(24). Al-Gaadi, B., Göktepe, F., Halász, M. A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*, 2012, vol. 82 (5), pp. 502-512.

(25). Sanad, R., Cassidy, T., Cheung, V., Evans, E. Fabric and Garment Drape Measurement –Part 2. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2013, 6(1):1-22.

(26). Minazio, G. FAST, Fabric Assurance by Simple Testing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, vol.7, no. 2-3. 43-48.

(27). Professor Sueo Kawabata. <http://www.mat.usp.ac.jp/polymer-composite/kawabataE.html> consultado el 30- 10.20103

(28). Kawabata, S. *Standardization and Analysis of Hand Evaluation*. The Textile Machinery Society of Japan ed., 2nd edition. Osaka, 1980.

(29). Grover, G., Sultan, M.A., Spivak, S.M. A screen technique for fabric handle. *Journal of Textile Institute*, 84 (3). 1993, pp.1-9.

(30). Alley, V.L., McHatton, A.D. Nozzle Extraction Process and Handmeter for Measuring Handle. *United States Patent 4,103,550*. August 1, 1978.

(31). Soliman, H.A., Sultan, M.A., Sheta, A.M. *The Bulletin of Faculty of Engineering*. 23: 115. 1984. Alexandria University.

(32). Sultan, M. Sheta, A. Predicting fabric hand acceptance for a specific end-use. *Textile Information Bulletin*, 36 (4). 1994.

(33). Pan, N., Yen, K.C., Zhao, S.J., Yang, S.R. A new approach to the objective evaluation of fabric hand from mechanical properties. Part II: Objective measure for total handle. *Textile Research Journal*, 58. 1988, pp. 438-444.

(34). Burchett, M.M. *Development of confort measurement matrix*. North Carolina State University. May 12 2007. <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/197>. Consultado el 5 de abril de 2013.

- (35). Kim, J., Slaten, B.L. Objective Assessment of Fabric Handle in Fabric Treated with Flame Retardants. *Journal of Testing and Evaluation*, 24, 1999, pp. 223-228.
- (36). Killinc, F.S. *A Study of the Nature of Fabric Comfort: Design-oriented Fabric Comfort Model*. Ph.D.Thesis. Auburn University. USA. 2004.
- (37). Hassan, M. *Computer-based System for Evaluation and Recognition of the Structural and Surface Characteristics of Fabrics*. Ph.D.Thesis. Al Mansoura University. Egypt. 2004.
- (38). Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part I: Fundamental aspects of fibre friction and lubrication. *Int. Nonwoven, J.* 6 (4), 1995a, pp. 35-42.
- (39). Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part II: Experimental observations. *Int. Nonwoven J.* 7(1), 1995b, pp. 26-33.
- (40). Hennrich, L., Seidel, A., Reider, O. Griffprüfung au Maschenwaren. *Maschen Industrie*, 7, 1999, p.46-47.
- (41). Martisiutè, G., Gutauskas, M. A new approach to evaluation of fabric handle. *Materials Science*. Vol. 7 No 3, 2001, pp.186-190.
- (42). Seidel, A. Griffbewertung von Strumpfwaren mit dem ITV-Griff-Tester. *Melliand Textilberichte*, 6, 2001, p.491-494.
- (43). Daukantiene, V., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Simulation and Application of the Behaviour of the Textile Fabric while Pulling through a Round Hole. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol 11, no 2 (41), 2003, pp.37-41.
- (44). Strazdiene, E., Martisiutè, G., Gutauskas, M., Papreckiene, L. Textile Hand: A New Method for Textile Objective Evaluation. *Journal of The Textile Institute*, 94, Part 1, No. 3-4, 2003, pp.245-255
- (45). Grineviciute, D., Gutauskas, M. The Comparison of Methods for the Evaluation of Woven Fabric Hand. *Materials Science*, Vol.10, No.1, 2004, pp.97-100.

- (46). Juodsnukyte, D., Gutauskas, M, Krauledas, S. Influence of Fabric Softeners on Performance Stability of Textile Materials. *Materials Science*. Vol. 11, No. 2, 2005, pp.179-182.
- (47). Grineviciute, D., Daukantienè, V., Gutauskas, M. Textile Hand: Comparison of Two Evaluation Methods. *Materials Science*, Vol. 11, No. 1, 2005, pp. 57-63.
- (48). Strazdiene, E., Gutauskas, M. New Method for the Objective Evaluation of Textile Hand. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol. 13 No. 2, 2005, pp. 35-38.
- (49). Strazdiene, E., Ben Saïd, S., Gutauskas, M., Schacher, L., Adolphe, D.C. The evaluation of fabric treatment by Griff tester and sensory analysis. *International Journal of Clothing Science and Technology*. Vol. 18, No. 5, 2006, pp. 326-334.
- (50). Truncyte, D., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Behaviour of Textile Membranes while Being Pulling Through a Hole by the Constrained Method. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 15, No, 1, 2007, pp.50-54.
- (51). Hasani, H., Planck, H. Analysis of the Physical Fundamentals of an Objective Integral Measuring System for the Determination of the Handle of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 6, 2009, pp.70-75.
- (52). Hasani, H. Novel Method to Evaluate the Low-Stress Shearing Behaviour of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 2, 2010, pp.70-72.
- (53). Pan, N., Zeronian, S.H., Ryu, H.S. An alternative approach to the objective measurement of fabrics. *Textile Research Journal*, 63, 1993, pp.33-43.
- (54). Pan, N. Quantification and evaluation of human tactile sense towards fabrics. *International Journal of Design & Nature*, Vol. 1, No.1, 2007, pp. 48-60
- (55). Nu Cybertek Inc. <http://www.nucybertek.com> consultada el 20 de agosto de 2012.
- (56). Wang, H., Mahar, T.J., Hall, R. (2012). Prediction of the handle characteristics of lightweight next-to-skin knitted fabrics using a fabric extraction technique. *The Journal of The Textile Institute*, Vol.13, No.7, 2012), pp.691-697

- (57). E-dyer. <http://www.e-dyer.com> Consultada el 6 de abril de 2013
- (58). Twing-Albert Instrument Company. Clupak Fabricometer. Philadelphia, P.A. Trade literature. 1970.
- (59). Thwing-Albert Instrument Company. Información técnica del Handle-O-Meter. <http://www.thwingalbert.com/handle-o-meter.html>. Consultada el 22 de agosto de 2012.
- (60). Dent, R.W., Oatfield, J.C., Mayes, R.T. Fabric Characterising Apparatus. *U.S. Patent 3,613,445*. 1971.
- (61). Weekly times now. "Ancient luxury test returns". http://www.weeklytimesnow.com.au/article/2010/11/02/251051_wool.html. Consultado el 5 de abril de 2013.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CAYENTE DE LOS TEJIDOS DE CALADA

INDICE	página
1 Introducción	3-2
2 Objetivos	3-3
3 Metodología	3-4
4 Análisis factorial y análisis cluster	3-10
5 Resultados y discusión	3-12
6 Conclusiones	3-61
7 Bibliografía	3-63

Capítulo 3

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CAYENTE DE LOS TEJIDOS DE CALADA

Resumen

Se ha realizado una revisión bibliográfica de los diferentes indicadores de cayente propuestos hasta la fecha (1968-2013) por los investigadores textiles identificando un total de 36 distintos. Se han calculado todos ellos para una muestra de 37 tejidos de calada comerciales de diferentes composiciones, gramajes y ligamentos que cubren los ámbitos de los tejidos de pañería, lanería, camisería y forrería, mediante un drapómetro tipo Cusick digitalizado. Se han realizado un análisis de las correlaciones existentes entre los indicadores calculados y se han identificado como relevantes 7. A continuación se ha realizado un análisis de componentes principales observándose la existencia de 3 factores comunes, el primero explica la intensidad del cayente, el segundo la severidad y el tercero explica la simetría y la variabilidad de su forma. Paralelamente se ha realizado un análisis clúster para visualizar estos resultados. Finalmente se describe y valida un criterio para diferenciar la forma del cayente de tejidos con el mismo DR% mediante la aplicación secuencial de los indicadores escogidos.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Assessment of drape indicators for woven fabrics. *Textile Research Journal* (en prensa).

3.1 Introducción

El DR% suministra una descripción objetiva del cayente del tejido aunque no de una forma totalmente completa. Así pues, un DR% bajo indica que el tejido se deforma con facilidad y por lo tanto que su cayente será elevado mientras que un DR% alto indica una baja deformación y por lo tanto un cayente también bajo (figura 1-3).

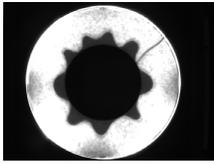
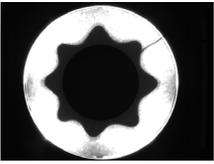
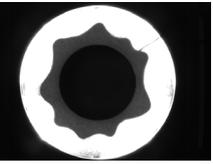
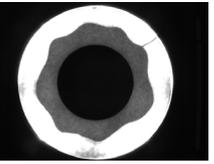
				
DR %	25,072	45,013	55,90	73,334

Figura 1-3. Aspecto del perfil del cayente de 4 tejidos con DR% distintos

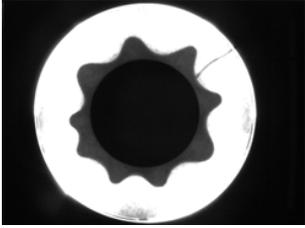
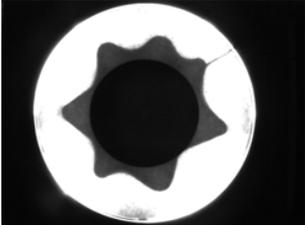
Ref	PB3 ACETEX E135 9N	PB4 ACETEX E0 7N
Imagen		
DR%	39,518	39,698
FN	9	7

Figura 2-3. Dos tejidos con el mismo valor DR% pueden presentar perfiles de cayente distintos

Sin embargo este índice es insuficiente para explicar el complejo fenómeno tridimensional del cayente, puesto que dos tejidos que tengan el mismo DR% pueden presentar formas de cayente notablemente distintas (ver figura 2-3). No hemos de olvidar que este método de ensayo se basa en analizar una realidad tridimensional -el cayente- y reducirla a una de bidimensional -la sombra del cayente proyectada en un plano-.

3-2 Objetivos

Los objetivos del presente capítulo son:

- a) analizar la aportación que presenta cada uno de los indicadores descritos en el capítulo 2 en el estudio del complejo fenómeno del cayente.
- b) determinar cual o cuales de los indicadores propuestos hasta la fecha explican más satisfactoriamente la forma del cayente, puesto que el DR% presenta evidentes limitaciones al respecto.
- c) proponer un criterio para determinar la forma del cayente a través de la aplicación secuencial del conjunto de indicadores propuestos.
- d) a partir del análisis de las correlaciones entre indicadores, encontrar la forma más rápida y sencilla de calcular el DR% sin la necesidad de proceder al recorte de la zona del papel cubierta por la sombra proyectada por el cayente.

3.3 Metodología

La revisión bibliográfica realizada, ha permitido identificar un total de 36 indicadores e índices de cayente. Se han calculado todos ellos para un conjunto formado por 37 tejidos de calada de un amplio espectro de composiciones, gramajes (entre los 50 y 447 g/m²), ligamentos y densidades, que representan el ámbito de los tejidos comerciales de lanería, pañería, camisería y forrería (Tabla 1).

Las determinaciones se han realizado mediante un drapómetro tipo Cusick que lleva incorporado en su parte superior una cámara digital CCD conectada a un ordenador, dicho equipo se encuentra en el Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) (ver figura 5-2) y que se ha descrito detalladamente en el capítulo 2.

Para cada tipo de tejido se han preparado 4 probetas de 30 cm de diámetro utilizándose un disco de soporte de 18 cm de diámetro. De cada probeta se han realizado 3 ensayos (en tres posiciones distintas con giros de 0, 90 i 135° respectivamente), tanto por el haz como por el envés obteniéndose, por lo tanto, la media aritmética de las 24 determinaciones. En el caso de la medida del radio medio R_{avg} se ha calculado la media aritmética de la distancia del centro de la probeta al borde del tejido caído de 720 lecturas (realizadas cada 0,5 °) por cada cara de la probeta, obteniéndose como resultado final el promedio de las 24 medias aritméticas. Todos los ensayos se han realizado con las muestras acondicionadas en atmosfera estándar de acuerdo con la norma UNE 40-139-75

Se ha estudiado la correlación existente entre los valores DR% obtenidos por el sistema tradicional Cusick (cortado y pesado del papel con la sombra

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

proyectada por el cayente) y el sistema del drapómetro digital UPC (cálculo del área del cayente a partir de los píxeles) obteniendo un coeficiente de correlación Pearson del 0,997 y un p-valor de 0,000 (ver figura 3-3)

Hasta la fecha los diferentes investigadores del fenómeno del cayente han llegado a proponer hasta un total de 36 indicadores. Todos ellos han sido descritos detalladamente en el Capítulo 2 y en este capítulo se reproducen de forma resumida en la tabla 2-3.

Composición	Número de tejidos
Lana 100 %	3
Lana y mezclas	5
Algodón 100 %	4
Algodón y mezclas	4
Lino y mezclas	2
Poliéster/Viscosa	5
Poliéster/Viscosa (forrería)	6
Poliéster 100% (forrería)	5
Viscosa 100 % (forrería)	2
Acetato y mezclas (forrería)	2

Tabla 1-3. Composición de los tejidos de calada estudiados

Aclarar que en la figura 14-2 se transforma el perfil nodal del cayente en un eje de coordenadas donde en “y” se representan los radios (en mm) y en el eje “x” los grados o bien el perímetro de la probeta sin caer. La severidad media

Capítulo 3

del nodo es la media aritmética del cociente entre la altura de cada nodo “h” y la anchura del mismo “b”.

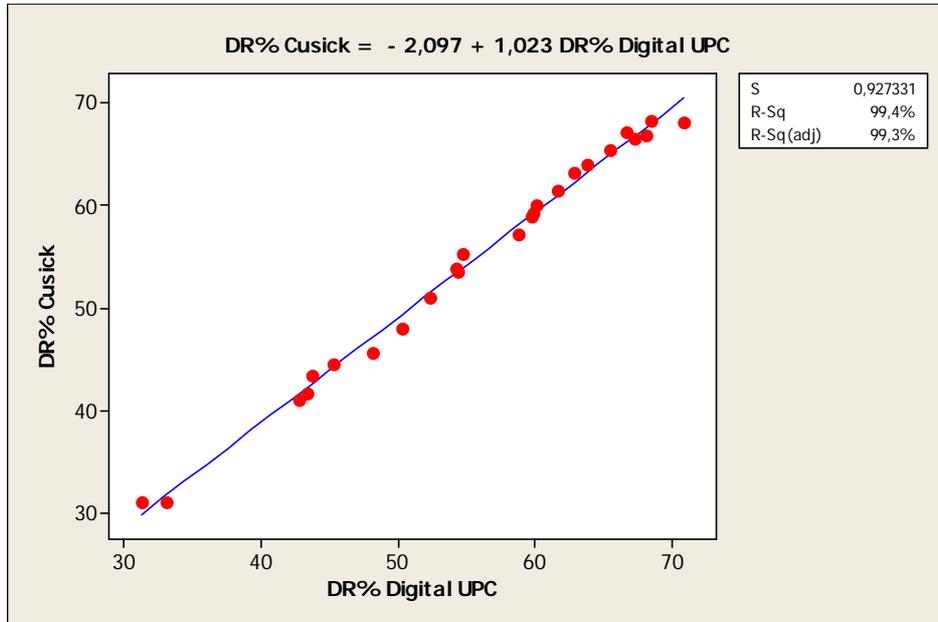


Figura 3-3. Regresión entre el DR% Cusick y con el drapómetro digital UPC

Núm.	Índice o indicador	Descripción	Autor
1	Índice de cayente DR (%)	$DR\% = \left(\frac{A - B}{C - B} \right) \cdot 100$	(1)
2	Número de nodos FN	$FN = num\ FP$	(2)
3	Factor de forma SF (mm)	$SF = \frac{FaPR}{\sqrt{2 FaPR^2 (1 - \cos a)}}$	(2)
4	Pico medio FaPR (mm)	$FaPR = \sum_{i=1}^n \frac{FPRi}{n}$	(3)

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

Núm.	Índice o indicador	Descripción	Autor
5	Valle medio VaFR (mm)	$VaFR = \sum_{i=1}^n \frac{VFRi}{n}$	(3)
6	Ángulo de cayente del Pico aFPR (°)	$aFPR = \text{sen}^{-1} \left(\frac{r - FPR}{R - r} \right)$	Adaptación de (3)
7	Ángulo de cayente del valle aVFR (°)	$aVFR = \text{sen}^{-1} \left(\frac{r - VFR}{R - r} \right)$	Adaptación de (3)
8	Varianza de los Picos FPvar	$FPvar = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[FPRi - \left(\frac{1}{n} \sum FPRi \right) \right]^2$	Adaptación de (3)
9	Radio medio Ravg (mm)	$Ravg = \frac{\sum_{i=1}^{720} Ri}{720}$	(4)
10	Relación de distancias del cayente DDR (%)	$DDR\% = \left(\frac{R - Ravg}{R - r} \right) \cdot 100$	(4)
11	Índice de anchura de los pliegues FDI De (mm)	$FDI De = \frac{FaPR - VaPR}{R - r}$	(5)
12	Varianza de los Radios VRi	$VRi = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{720} \left[Ri - \left(\frac{1}{n} \sum Ri \right) \right]^2$ Varianza de 720 medidas de Radio Ri	Adaptación de (5)
13	Circularidad CIRC (mm)	$CIRC = 4 \pi \frac{A}{p^2}$ p = perímetro sombra del cayente	(6)
14	Severidad media del nodo MNS (mm)	$MNS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{hi}{\frac{bi}{n}} \right)$	(6)

Capítulo 3

Núm.	Índice o indicador	Descripción	Autor
15	Variabilidad de la severidad de nodos VS (mm)	$VS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MNS_i - \overline{MNS})^2}{n - 1}}$	(6)
16	Anchura media del nodo FW (mm)	$FW = \sum_{i=1}^n \frac{FW_i}{n}$	(7)
17	Altura medio del nodo FH (mm)	$FH = \sum_{i=1}^n \frac{FH_i}{n}$	(7)
18	Variación de la longitud de los Picos Gp (%)	$Gp\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (FPR_i - \overline{FPR})^2}{n - 1}}}{\overline{FPR}} \cdot 100$	Adaptación de (8)
19	Profundidad de los pliegues dga (mm).	$dga = FaPR - VaFR$	(8)
20	Altura del Pico fmax (mm)	$fmax = \sqrt{(R - r)^2 - (r - VaFR)^2}$	(8)
21	Altura del Valle fmin (mm)	$fmin = \sqrt{(R - r)^2 - (r - FaPR)^2}$	(8)
22	Amplitud onda dominante WA (mm)	Amplitud de la frecuencia de la onda dominante (obtenida mediante la transformada de Fourier FFT)	(9)
23	Índice de simetría D/O (mm ²)	$\frac{D}{O} = \frac{\text{Área perfil dominante FFT}}{\text{Área perfil original proyección}}$	(9)
24	Amplitud radial A/r (mm)	$\frac{A}{r} = \frac{dga}{Ravg}$	(10)

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

Núm.	Índice o indicador	Descripción	Autor
25	Radio de la circunferencia equivalente <i>rce</i> (mm)	$rce = \sqrt[2]{A/\pi}$ Radio de la circunferencia que tenga la misma área de la sombra proyectada por el cayente	(11)
26	<i>R Factor</i> (mm)	$R \text{ Factor} = \frac{\sqrt[2]{(ri - rce)^2}}{rce - R}$	(11)
27	Ángulo entre nodos α (°)	$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{n}$	(12)
28	Índice porcentual de anchura de nodos <i>FDIDE%</i>	$FDIDE\% = \left(\frac{dga}{R - r} \right) \cdot 100$	(13)
29	Semiprofundidad de nodos <i>ARR</i> (mm)	$ARR = \frac{dga}{2}$	(13)
30	Dimensión fractal <i>D</i>	$\ln \cdot N(\varepsilon) = \ln \cdot K + D \cdot \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)$	(14)
31	Índice de irregularidad del cayente <i>DU%</i> (%)	$DU\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n - 1}}}{\bar{\alpha}} \cdot 100$	(15)
32	Altura <i>H</i> (mm)	$H = \frac{FaPR + VaPR}{2}$	(16)
33	Amplitud <i>WAM</i> (mm)	$WAM = \frac{ARR}{H}$	(16)
34	Relación altura/grados <i>RH/a</i> (mm/°)	$RH/\alpha = \frac{H}{\alpha}$	(16)
35	<i>A/P</i> (mm)	A/P = Área de la sombra proyectada por el cayente/Perímetro del perfil del cayente	(16)

Núm.	Índice o indicador	Descripción	Autor
36	Perfil del nodo Fsp (mm)	$Fsp = FW - FH$	propio

Tabla 2-3. Relación cronológica de indicadores e índices del cayente propuestos hasta la fecha por diferentes investigadores

3.4 Análisis Factorial y análisis Clúster

La denominación genérica de “análisis factorial” y “análisis clúster” agrupa diversos procedimientos de análisis multivariable que analiza la relación mutua entre varias variables. La finalidad principal de ambos análisis es la agrupación de variables, y en el presente estudio a partir de una matriz de correlación. En el análisis factorial la agrupación se realiza en función de la variabilidad que cada variable comporta con otras variables no directamente observables (factores comunes) mientras que en el análisis clúster, la agrupación se realiza por la proximidad o similitud de las variables entre sí. De hecho algunos autores definen el análisis clúster como “el arte de encontrar grupos en los datos” (17). Ambos análisis aplican el principio de parsimonia - obtener aquella estructura de datos más simple posible que represente agrupaciones homogéneas- y la interpretabilidad, es decir, que los grupos creados tengan un significado práctico.

En el presente estudio se encuentra, en primer lugar, la estructura subyacente en los datos por medio del análisis factorial y a continuación se efectúa una lectura gráfica mediante el dendrograma que proporciona el análisis clúster, puesto que la clasificación es uno de los procesos fundamentales en ciencia, ya que los fenómenos deben ser ordenados para que se puedan entender.

En el análisis factorial cada variable observada se expresa mediante una combinación lineal de un número pequeño de factores comunes latentes y un término de error. El modelo puede representarse mediante la siguiente relación algebraica.

$$x = A \cdot f + e$$

donde

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{pl} & \dots & a_{pk} \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_k \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ \dots \\ e_k \end{bmatrix}$$

Los a_{ij} son los pesos factoriales que muestran como cada x_i depende de factores comunes f_i y se usan para interpretar los factores. Por ejemplo, valores altos relacionan un factor con la correspondiente variable observada y así se puede caracterizar cada factor.

Para la conglomeración de variables con un tamaño muestral pequeño se aplica un método jerárquico, y los aglomerativos ascendentes son los más habituales: el análisis empieza con tantos conglomerados como variables a clasificar; en un segundo paso, se combinan aquel par de variables que presenten mayor proximidad ó similitud; en el tercer paso, surge un nuevo conglomerado de la fusión, bien de otras dos variables, bien de una tercera variable que se une al conglomerado previamente formado por las dos variables iniciales. La formación de conglomerados es gradual y ascendente. El proceso finaliza cuando se llega a un único conglomerado que reúne a todas las variables.

Para la conglomeración jerárquica de las variables, se han aplicado distintos algoritmos de clasificación (han proporcionado los mismos grupos) y

finalmente se ha elegido el “vecino más lejano” ó “vinculación completa” (en inglés “complete linkage”) y la correlación de Pearson como medida de similitud (se utiliza el valor absoluto de cada correlación ya que se quiere medir la “fuerza” de las relaciones entre las variables y no su “dirección”). En este contexto, el coeficiente entre las variables x_i y x_j se define como sigue:

$$y_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i) (x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}$$

Para la conglomeración jerárquica de las variables, se han aplicado distintos algoritmos de clasificación (han proporcionado los mismos grupos) y finalmente se ha elegido el “vecino más lejano” ó “vinculación completa”. En este algoritmo la similitud s entre un grupo formado x_i+x_j y una variable x_k sin clasificar viene dado por la mínima de las variables del grupo a la nueva variable, tal como sigue:

$$s [x_k \{x_i + x_j\}] = \min [s(x_k x_i), s(x_k x_j)]$$

3.5 Resultados y discusión.

Se han calculado los 36 indicadores de la tabla 2-3 para los 37 tejidos de calada estudiados; a continuación se ha obteniendo la matriz de correlaciones de los indicadores.

Todo ello ha permitido obtener, entre otros resultados, unas tablas donde se visualiza cómo evoluciona el aspecto del cayente de los tejidos en la medida que evolucionan, también, cada unos de los indicadores (de la figura 4-3 hasta la 39-3).

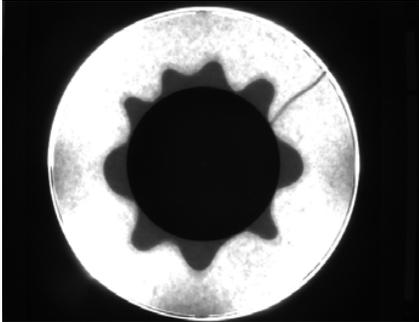
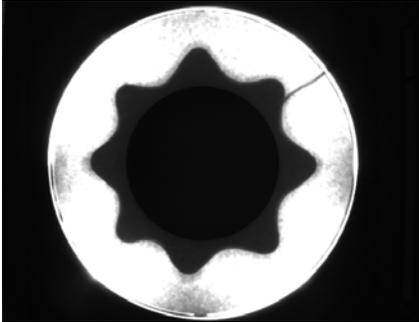
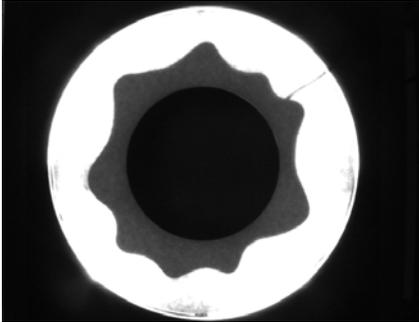
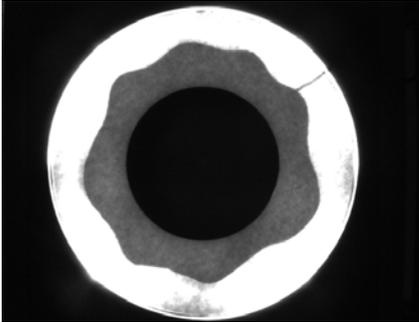
				
Ref.	PB3 7X H0 9N	PB1 SC2684 E0 8N	PB3 F382 E90 9N	PB3 E255 H0 8N
DR %	25,072	45,013	55,900	73,334

Figura 4-3. Evolución de DR%

A medida aumenta el DR%, el perfil del cayente es menos rugoso

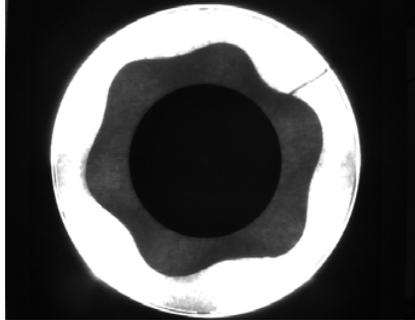
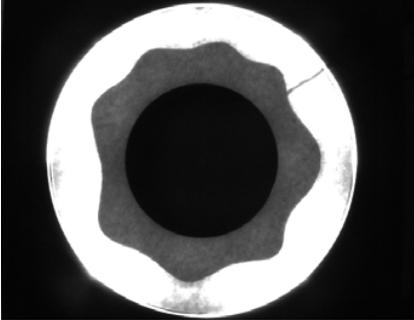
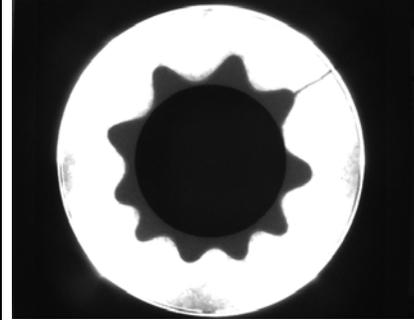
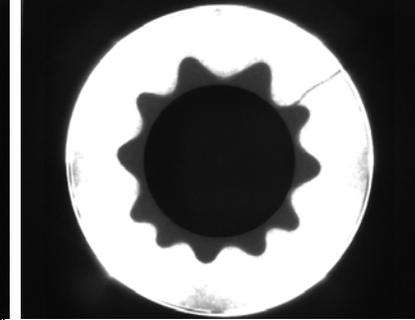
				
Ref.	PB1 N20429 Ho 6N	PB1 E255 H0 8N	PB2 C1854 H90 10N	PB4 C1854 H90 11N
FN	6	8	10	11

Figura 5-3. Evolución del FN

A mayor número de nodos, mayor será la sensación visual de cayente

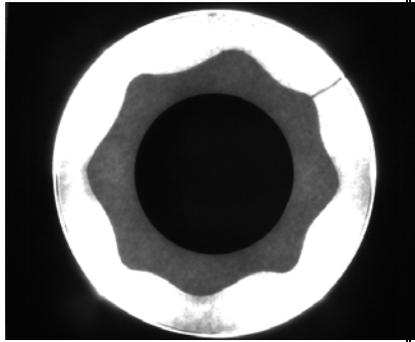
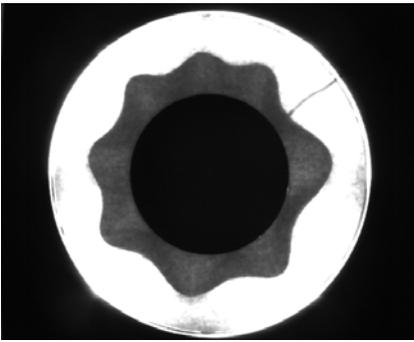
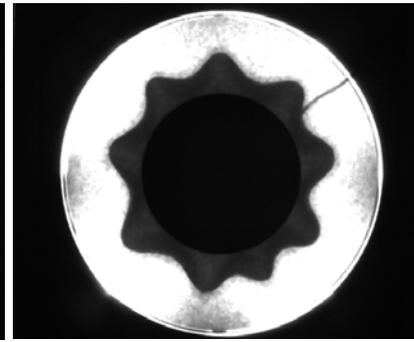
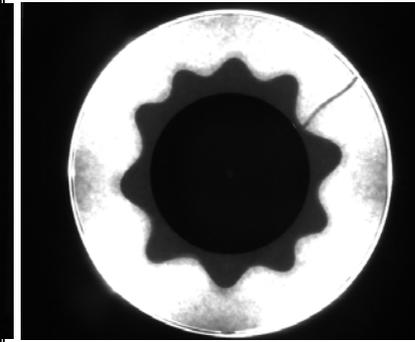
				
Ref.	E255 PB1 E90 8N	L1694 PB1 E0 8N	NH 409 PB1 H90 9N	S95001 PB1 H90 10N
SF	0,150	0,202	0,252	0,303

Figura 6-3. Evolución de SF

A medida que aumenta el Índice de forma SF, también lo hace el cayente y la rugosidad de su perfil, el cual tiende a aumentar su número de nodos y la severidad de los mismos.

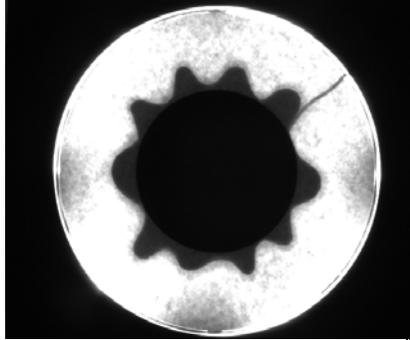
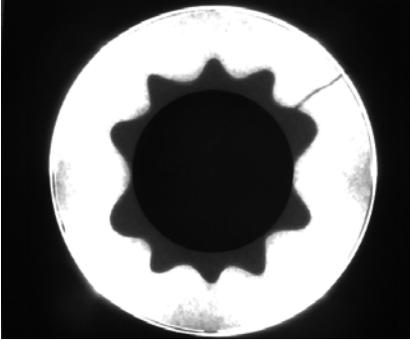
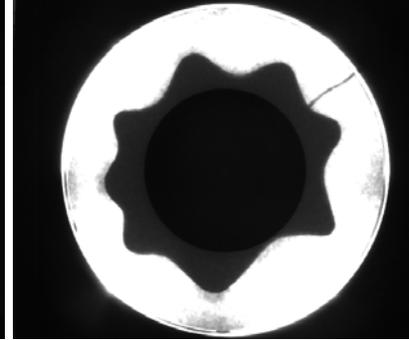
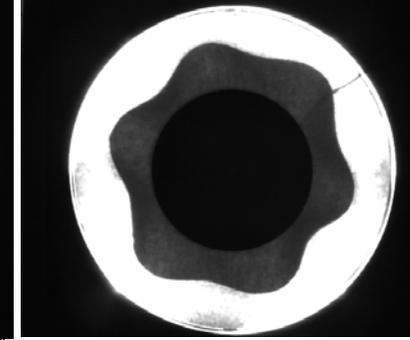
				
Ref.	PB1 7X H0 10N	PB4 M4015 E90 10N	PB1 B2482 H0 8N	PB1 N20429 H0 6N
Fa PR	121,996	128,008	138,194	145,664

Figura 7-3. Evolución de *FaPR*

A medida que aumenta la longitud media de los Picos, menor es el cayente del tejido y más suave es su perfil proyectado

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

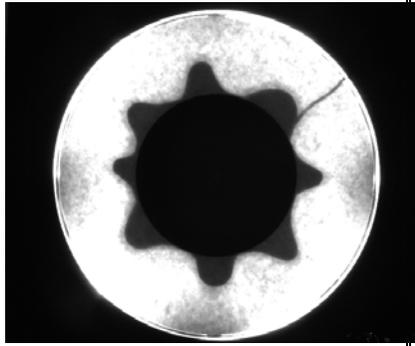
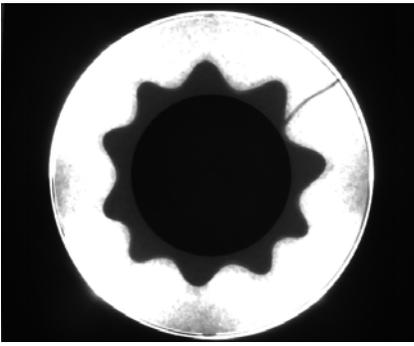
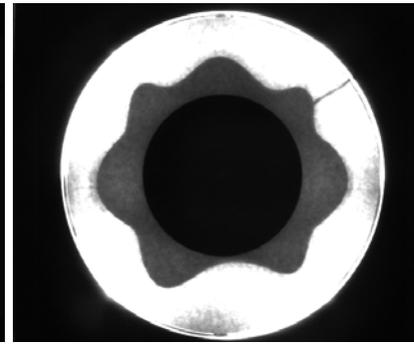
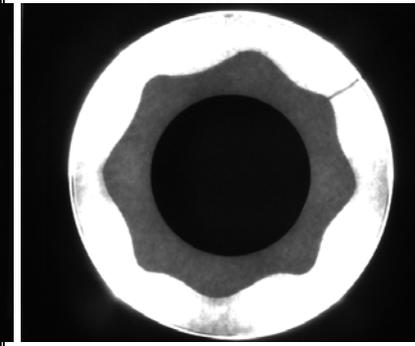
				
Ref.	PB1 7X H135 9 N	PB2 H-437 H0 10N	PB4 P2711 H0 7N	PB1 E255 E90 8N
Va FR	94,542	105,003	115,032	126,256

Figura 8-3.Evolución de *VaFR*

Cuando menor es la longitud media de los Valles, mayor es el cayente y su rugosidad (menor suavidad del perfil)

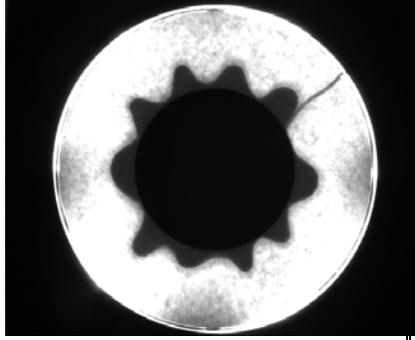
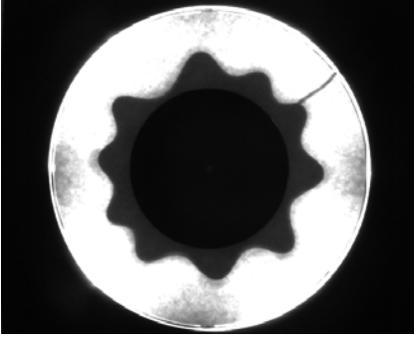
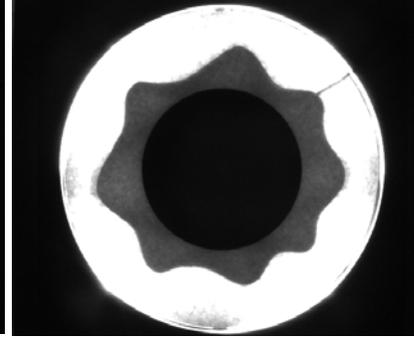
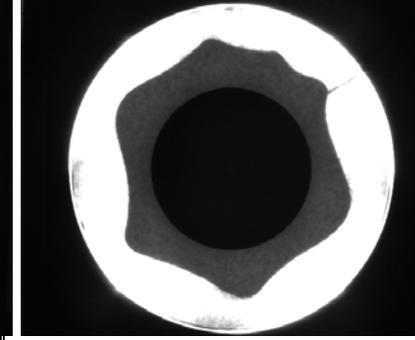
				
Ref.	PB1 7X H0 10N	PB1 S95001 H0 10N	PB1 P270 H0 8N	PB1 N10123 H0 7N
α FPR	31,105	38,464	45,169	52,317

Figura 9-3. Evolución de α FPR.

Cuando menor es el ángulo de caída del pico, mayor es el cayente y la rugosidad de su perfil.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

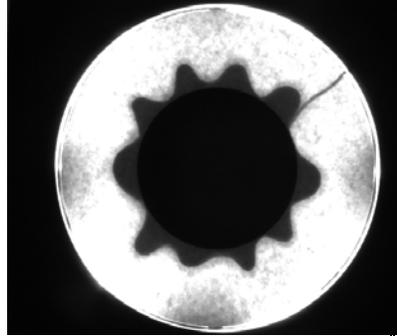
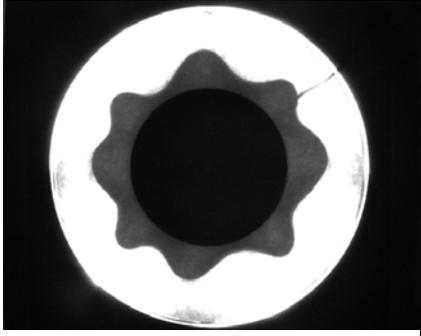
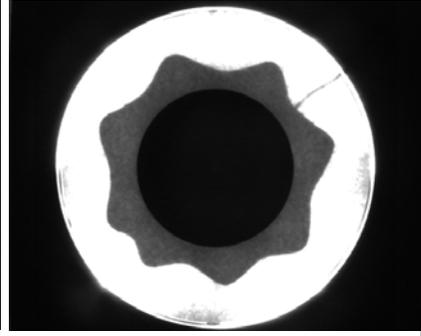
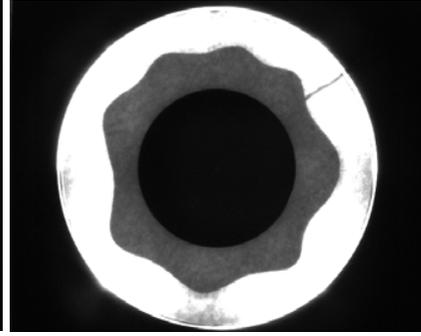
				
Ref.	PB1 7X H0 10N	PB1 ACETEX H0 8N	PB1 ITAL002 H0 8N	PB1 E255 H0 8N
α VPR	6,10	15,548	26,213	34,930

Figura 10-3.Evolución de α VFR

Cuando menor es el ángulo de cayente del valle, mayor es el cayente y la rugosidad de su perfil

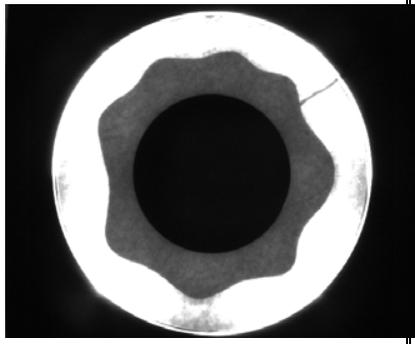
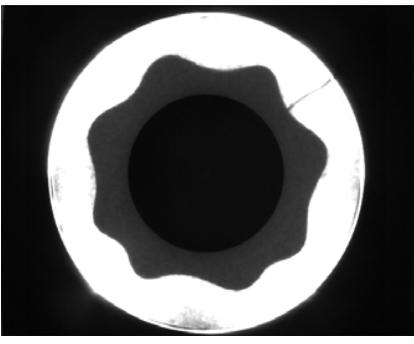
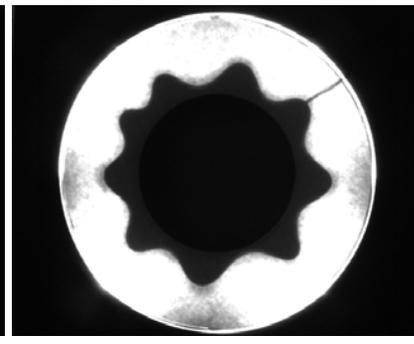
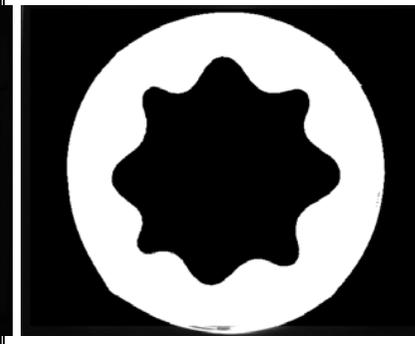
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 S80316 H0 8N	PB1 S80190 9N	PB1 Z3254 H0 8N
FDI De	0,276	0,341	0,401	0,477

Figura 11-3. Evolución de *FDI De*

FDI De un indicador equivalente al indicador de la profundidad media de los nodos *dga*, puesto que es lo mismo que este dividido por la diferencia entre el radio la probeta y el disco de soporte (y por tanto de una constante). A mayor *FDI De*, mayor es también la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.

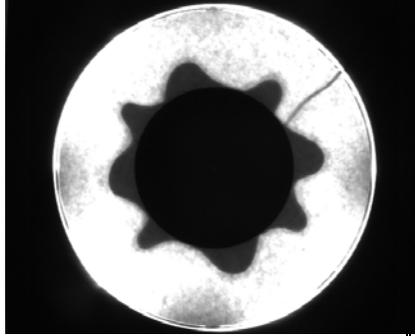
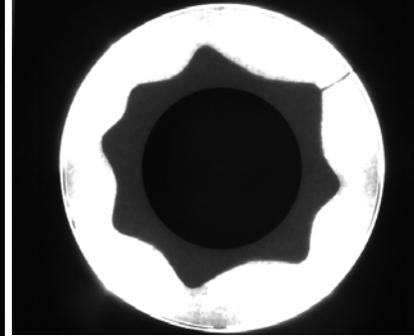
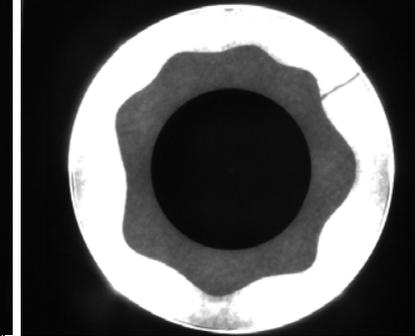
				
Ref.	PB2 7X E90 8N	PB4 H437 H135 10N	PB4 T472 H135 8N	PB1 E255 H0 8N
<i>R_{avg}</i>	107,640	115,414	126,456	134,673

Figura 12-3. Evolución de R_{avg}

R_{avg} es un indicador equivalente tanto al radio de la circunferencia equivalente r_{ce} del área proyectada por la sombra del cayente como al Índice de cayente $DR\%$ de tal forma que cuando mayor sea el R_{avg} menor será el cayente del tejido.

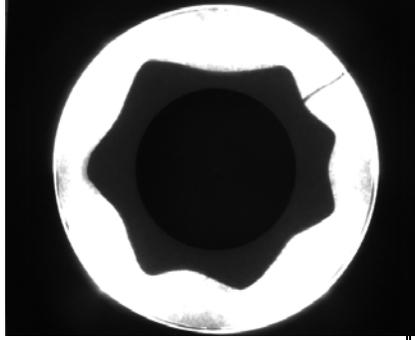
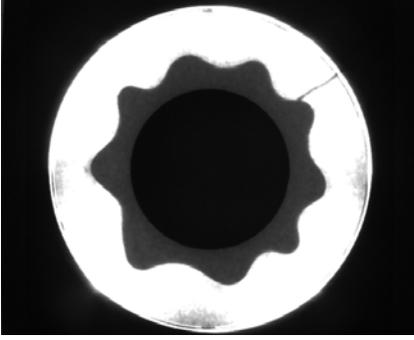
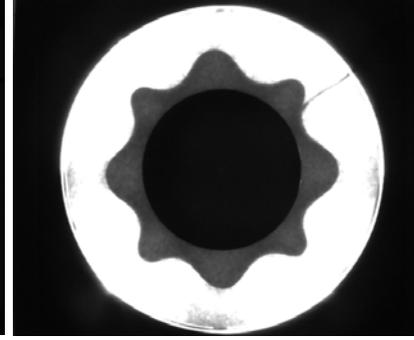
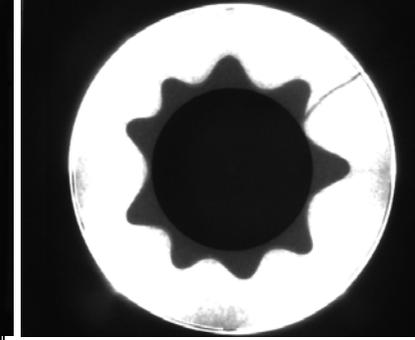
				
Ref.	PB1 N17164 H90 7N	PB1 S80196 H135 9N	PB1 Z3204 H0 8N	PB1 C1854 H0 9N
DDR %	32,979	43,686	53,986	63,878

Figura 13-3 Evolución del Índice *DDR%*

A mayor *DDR%*, menor suavidad y por lo tanto mayor rugosidad presentará el perfil del cayente.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

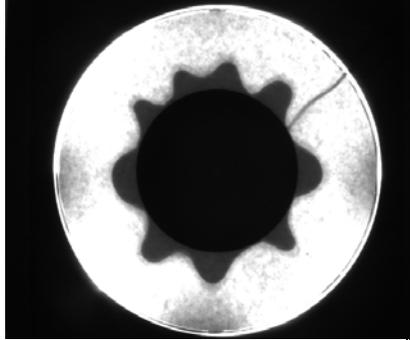
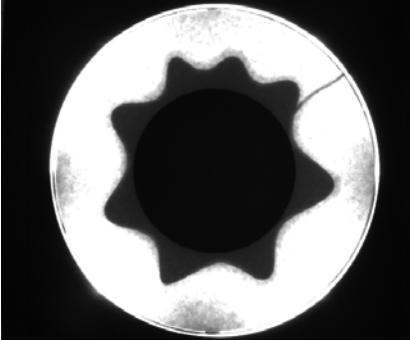
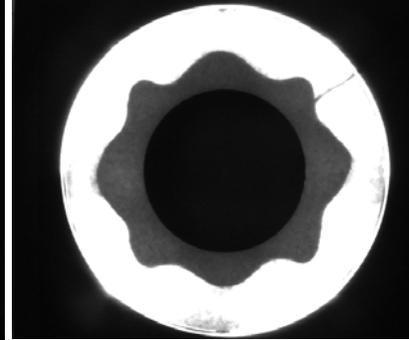
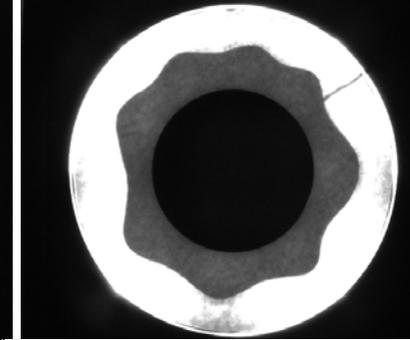
				
Ref.	PB1 7X H0 9N	PB1 N1342 H0 8N	PB1 P257 H0 8N	PB1 E255 H0 8N
rce	108,730	117,370	126,108	134,161

Figura 14-3. Evolución de *rce*

rce es equivalente tanto a *Ravg* como al *DR%*, de tal forma que a mayor *rce* menor cayente tendrá el tejido y su perfil será más suave.

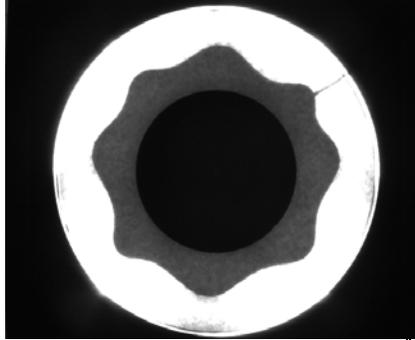
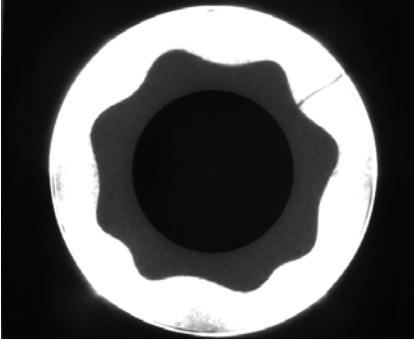
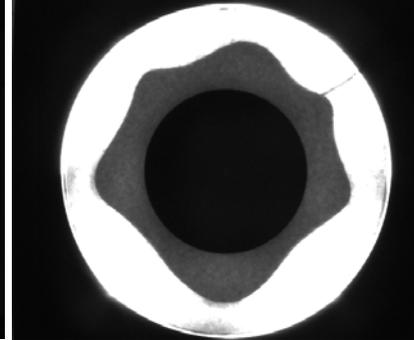
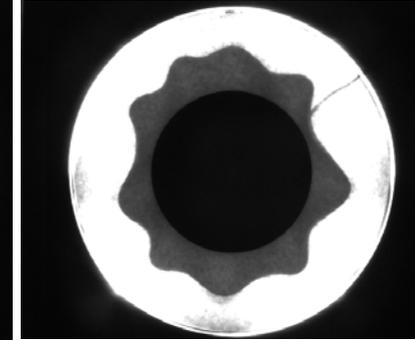
				
Ref.	PB1 S20906 E90 8N	PB1 S80316 H0 8N	PB1 277 H90 6N	PB1 P270 H0 9N
<i>FP Var</i>	2,625	8,012	14,519	21,443

Figura 15-3. Evolución de *FP Var*

A mayor varianza *FPvar*, mayor será la irregularidad de las dimensiones de los picos y por lo tanto menor será la regularidad de la concentricidad y su simetría.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

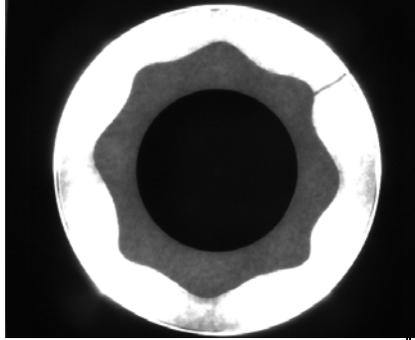
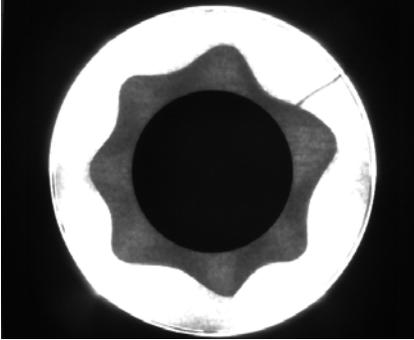
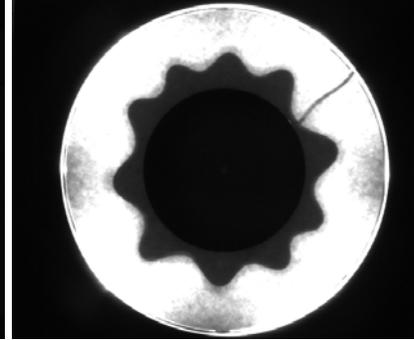
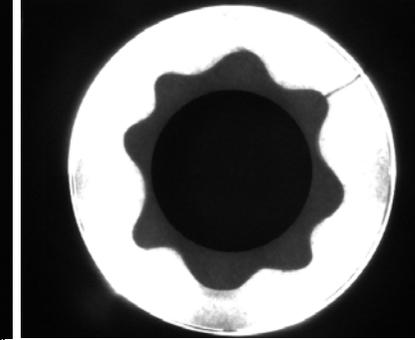
				
Ref.	PB1 E255 E0 8N	PB1 L1694 H0 7N	PB1 S95001 H90 10N	PB1 Z370 H90 8N
VRi	44,081	70,632	100,486	134,763

Figura 16-3. Evolución de VRi

A menor variabilidad de radios VRi , la forma del cayente es más regular y su cayente es mayor.

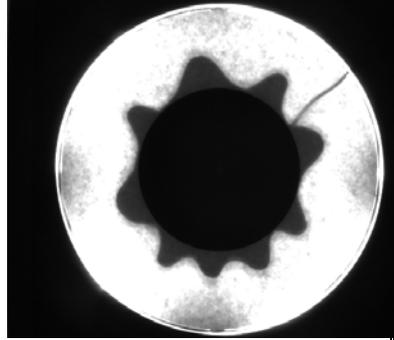
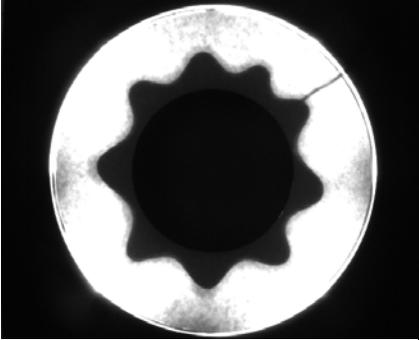
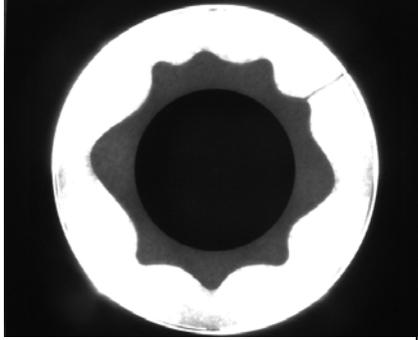
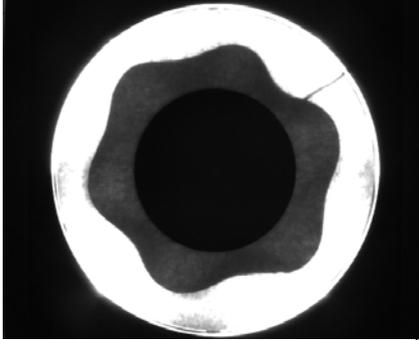
				
Ref.	PB4 7X E90 9N	PB1 S80190 H90 9N	PB4 P257 E0 9N	PB1 N20429 H0 6N
CIRC	0,515	0,601	0,700	0,802

Figura 17-3. Evolución de *CIRC*

A medida que aumenta *CIRC*, también lo hace en el mismo sentido la suavidad del perfil del cayente y por lo tanto disminuye la rugosidad.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

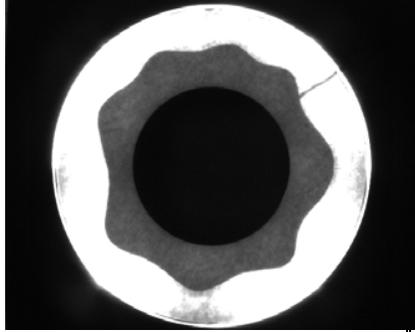
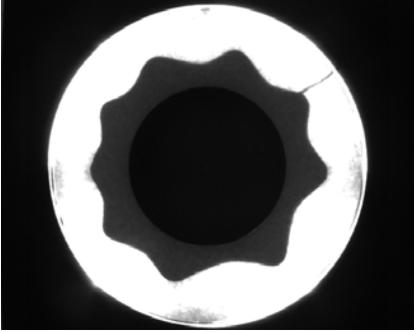
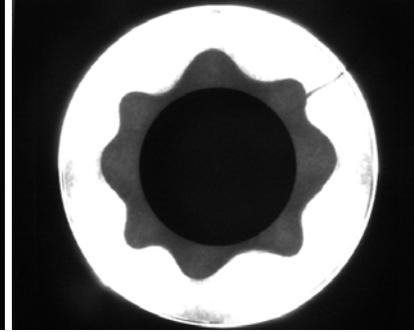
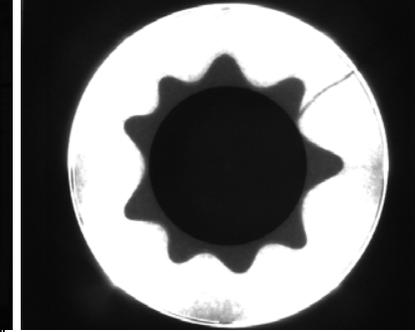
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 T472 H0 9N	PB1 ACETEX H0 8N	PB1 C1854 H0 9N
MNS	0,254	0,352	0,456	0,547

Figura 18-3. Evolución de *MNS*

Cuando mayor sea *MNS*, mayor será la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.

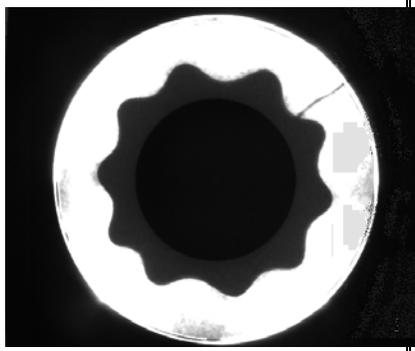
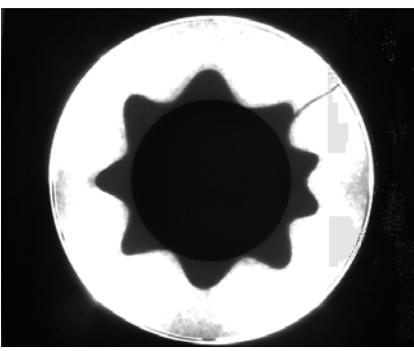
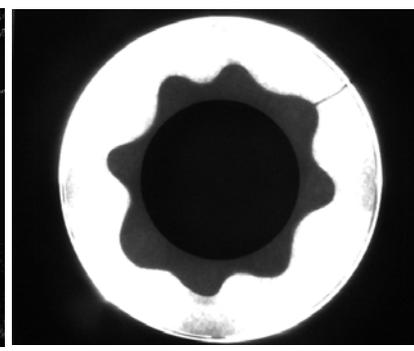
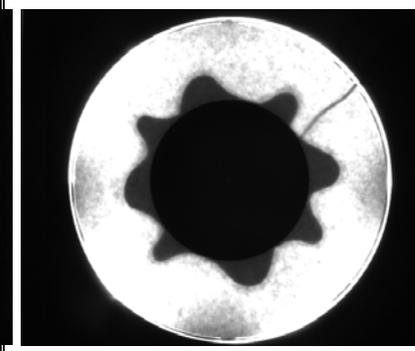
				
Ref.	PB1 C6300 E135 10N	PB4 M4015 H135 9N	PB1 Z370 H135 8N	PB2 7X E90 8N
VS	0,0213	0,0605	0,1047	0,1625

Figura 19-3. Evolución de VS

A menor VS, mayor regularidad de la forma del perfil del cayente en la probeta. Explica la regularidad de los nodos en una misma probeta pero no su forma.

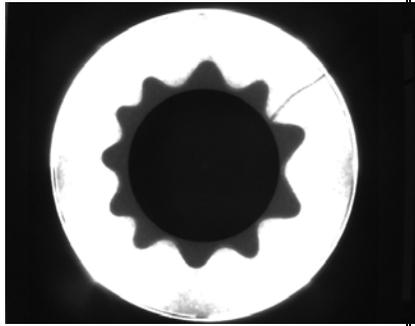
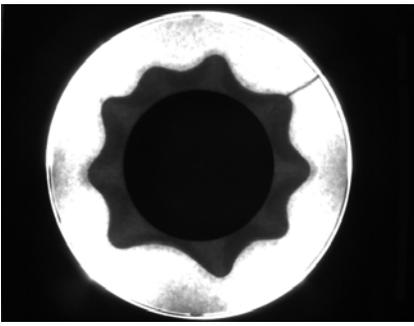
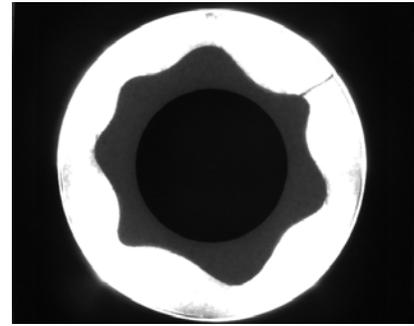
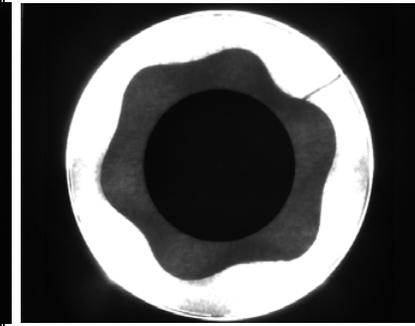
				
Ref.	PB4 C1854 H135 11N	PB1 NH409 E0 9N	PB4 S80316 H0 7N	PB1 N20429 H0 6N
FW	56,609	78,224	103,103	124,929

Figura 20-3. Evolución de *FW*

A mayor anchura de los nodos *FW*, el número de éstos disminuye y también lo hace el cayente. La anchura del nodo aumenta al hacerlo tanto la longitud media de los Picos *FaPR* como la de los Valles *VFaR*.

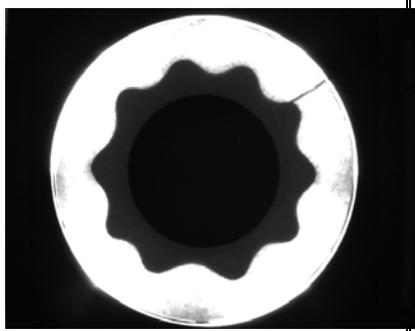
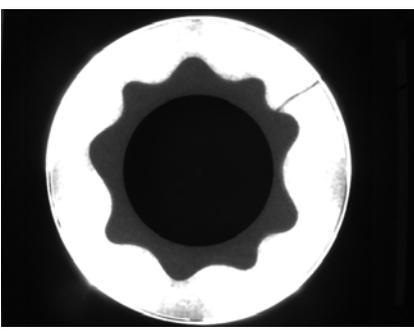
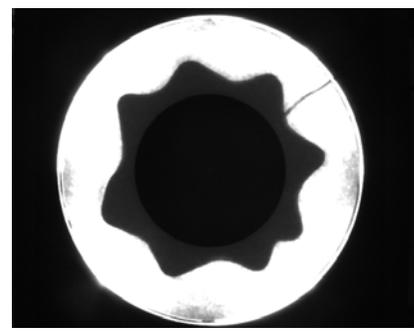
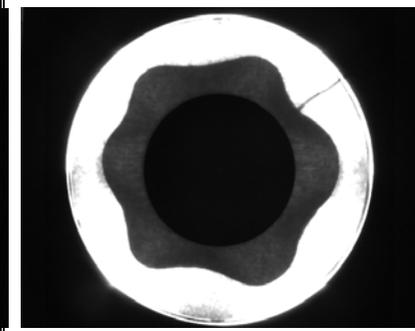
				
Ref.	PB4 C6300 H0 10N	PB2 S80196 E90 9N	PB4 B2482 E135 8N	PB2 N20429 H135 6N
FH	25,049	29,909	35,043	40,672

Figura 21-3. Evolución de *FH*

FH es un indicador relacionado con el ángulo entre nodos consecutivos, al aumentar α° , también los hace *FH*. A mayor *FH* el perfil será menos rugoso y la profundidad de los pliegues menor.

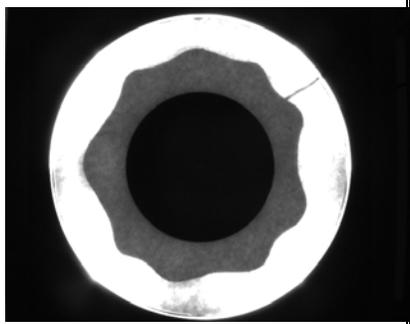
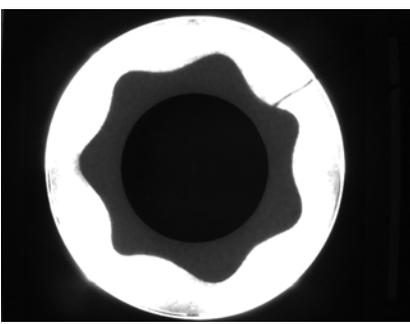
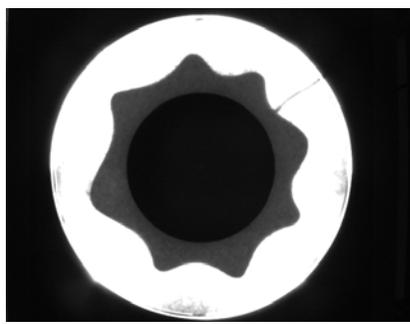
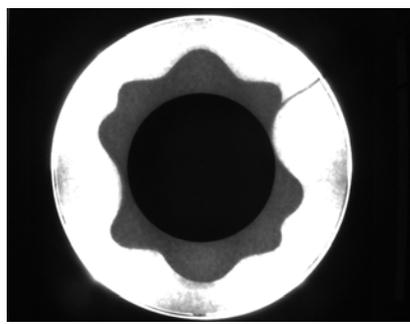
				
Ref.	PBN2 E255 E0 9 N	PB3 S80316 E135 7N	PB1 F382 E90 8N	PB3 P2711 H90 8N
Gp%	1,268	1,850	2,665	3,271

Figura 22-3. Evolución de $Gp\%$

$Gp\%$ tiene el mismo comportamiento que $FPVar$. Este indicador explica la variabilidad de la forma de los nodos y su grado de simetría en cada probeta

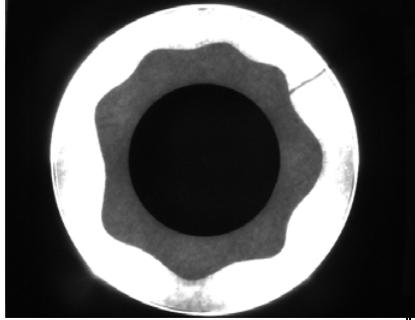
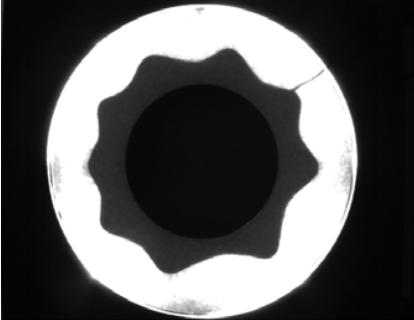
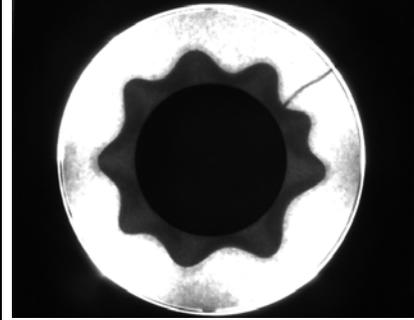
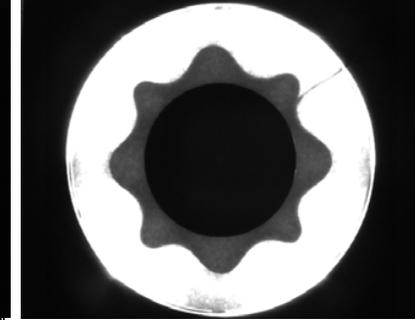
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 T472 H0 9N	PB1 NH409 H0 9N	PB1 Z3204 H0 8N
dga	16,553	20,144	24,297	28,247

Figura 23-3. Evolución de *dga*

Cuando menor sea *dga*, el perfil del cayente será más suave y cuando mayor sea también lo será la rugosidad del perfil

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

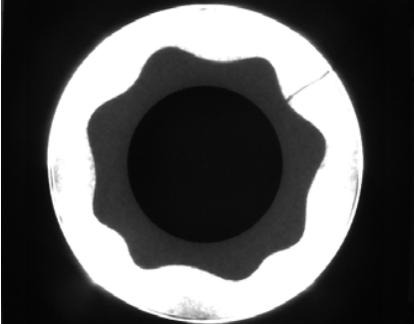
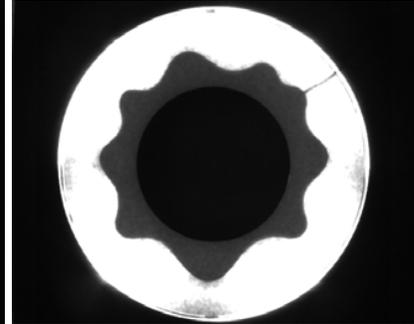
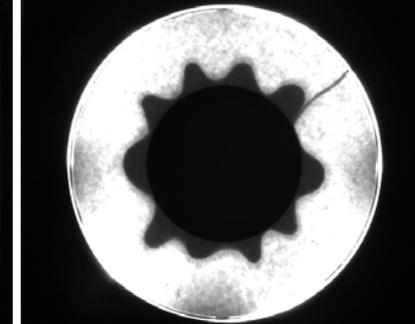
				
Ref.	PB1 B3550 H0 8N	PB1 S80316 H0 8N	PB1 S80196 H0 9N	PB1 7X H0 10 N
f_{max}	45,901	50,376	55,064	59,658

Figura 24-3. Evolución de f_{max}

Cuanto mayor sea f_{max} , menor será el ángulo de cayente del valle y por tanto mayor cayente tendrá el tejido

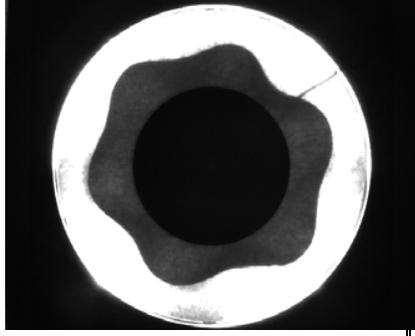
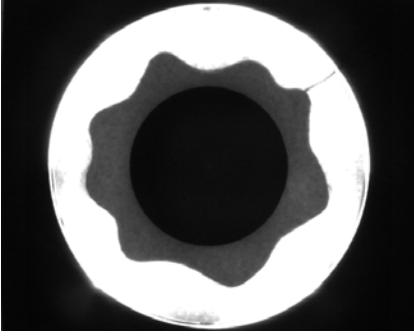
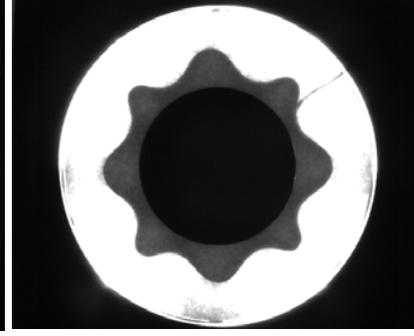
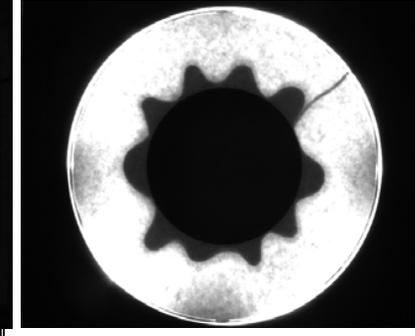
				
Ref.	PB1 N20429 H0 6N	PB1 F382 H0 8N	PB1 Z3204 H0 8N	PB1 7X H0 10 N
<i>f</i> <i>min</i>	24,642	33,292	41,495	50,388

Figura 25-3. Evolución de *f_{min}*

Cuanto menor sea *f_{min}*, mayor será el ángulo de cayente y por tanto menor cayente tendrá el tejido

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

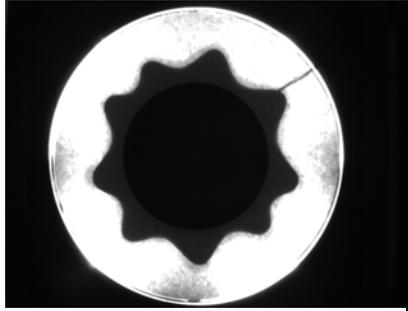
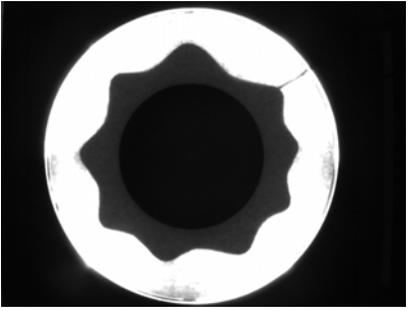
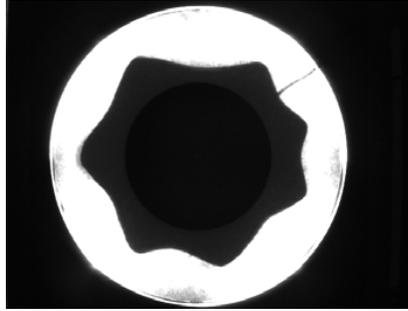
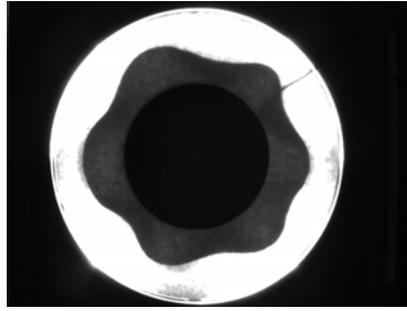
				
Ref.	PB1 SC2684 E90 9N	PB1 T472 H135 8N	PB1 N1754 H90 7 N	PB3 N20429 H0 6N
WA	10,472	13,463	15,708	18,850

Figura 26-3. Evolución de WA

A medida que aumenta *WA*, también lo hace la suavidad del perfil del cayente y por lo tanto disminuye su rugosidad y el número de nodos.

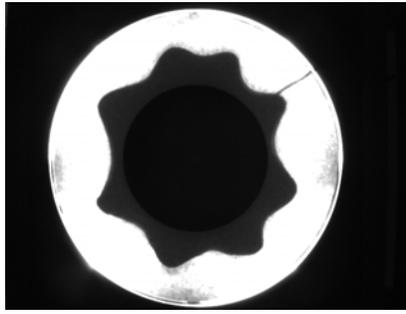
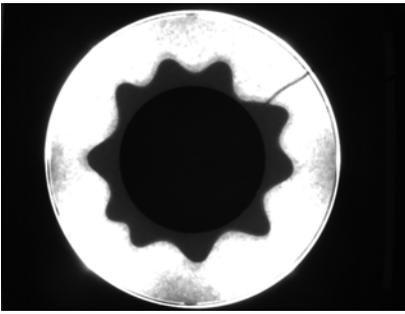
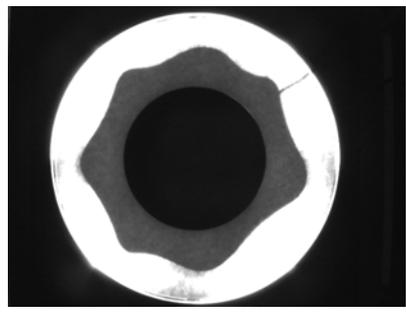
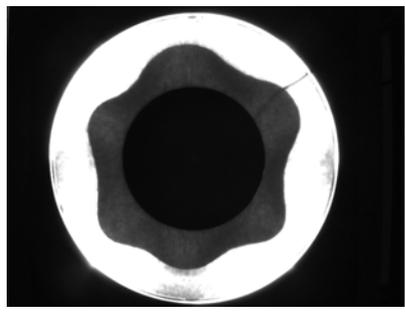
				
Ref.	PB3 B2482 H90 8N	PB4 H437 E0 10N	PB4 277 H0 7 N	PB2 N20429 H90 6N
D/O	0,9502	0,9703	0,9817	0,9990

Figura 27-3. Evolución del Fitness Factor D/O

A medida que aumenta D/O también lo hace la isotropía geométrica. Tiene un comportamiento similar al VRi , en la medida que a mayor isotropía, menor varianza de radios.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

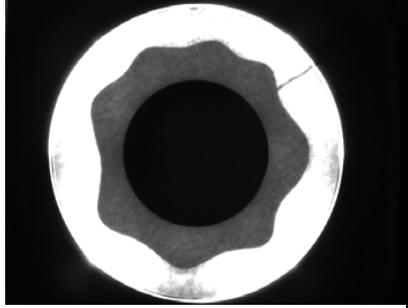
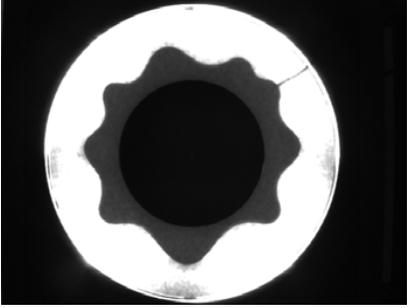
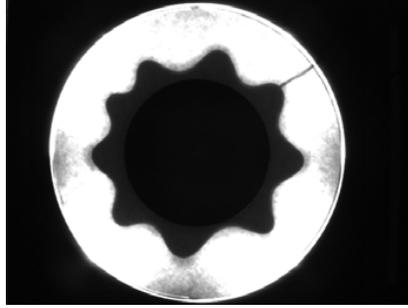
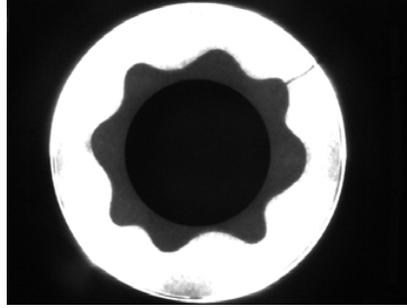
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 S80196 H0 9N	PB1 S80190 H0 9N	PB1 Z370 H0 8N
A/r	0,062	0,080	0,101	0,127

Figura 28-3. Evolución de A/r

A/r presenta un comportamiento similar a dga . A medida que aumenta A/r , también lo hace la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.

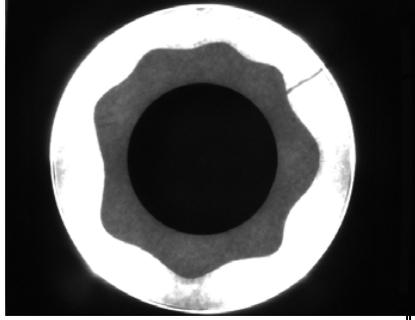
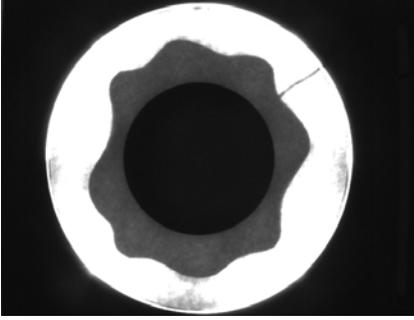
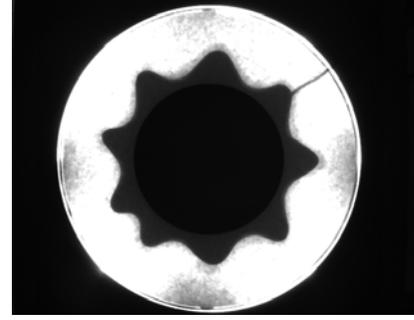
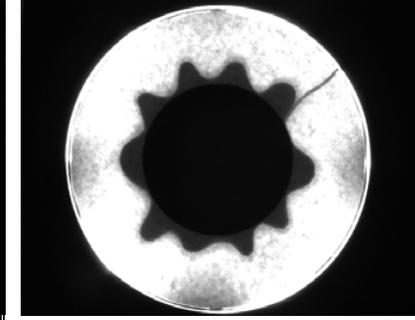
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 P254 H90 8N	PB1 N1343 E90 9N	PB1 7X H0 10N
F-R	15,273	24,705	35,931	53,108

Figura 29-3. Evolución del *Factor-R*.

A medida que aumenta *F-R*, también lo hace la rugosidad del perfil del cayente.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

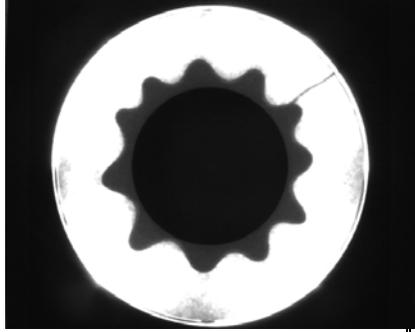
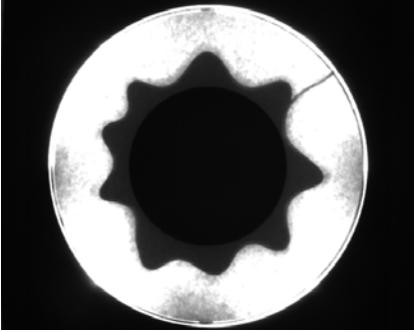
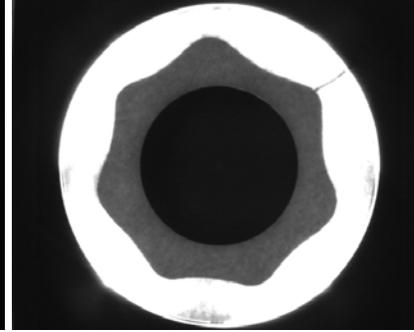
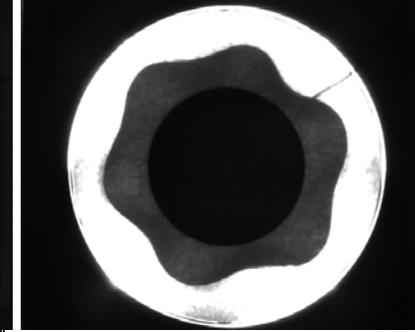
				
Ref.	PB1 C1854 H135 11 N	PB2 N1343 H90 9N	PB3 277 E90 7N	PB1 N20429 H0 6N
α°	32,727	40,000	51,428	60,000

Figura 30-3. Evolución del α°

A mayor ángulo entre nodos consecutivos, menor rugosidad y profundidad de los pliegues así como menor número de pliegues.

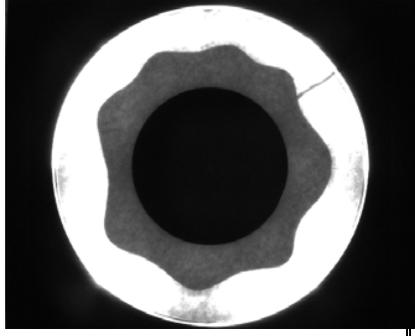
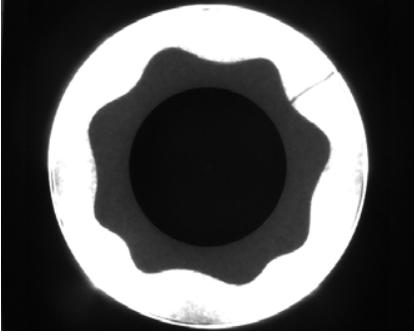
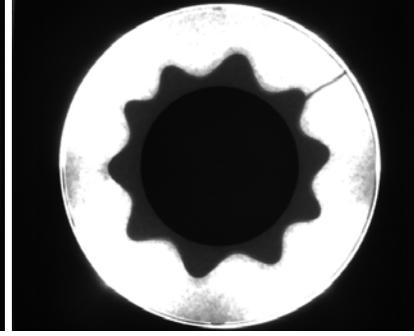
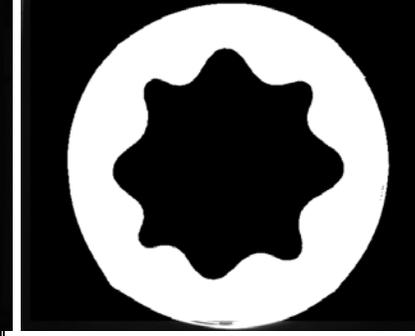
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 S80316 H0 8N	PB1 H437 H0 10N	PB1 Z3254 H0 8N
FDI De%	27,555	34,068	41,927	47,748

Figura 31-3. Evolución de *FDI De%*

A mayor *FDI De%*, mayor rugosidad y profundidad de los pliegues

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

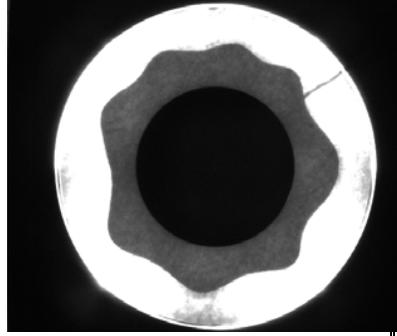
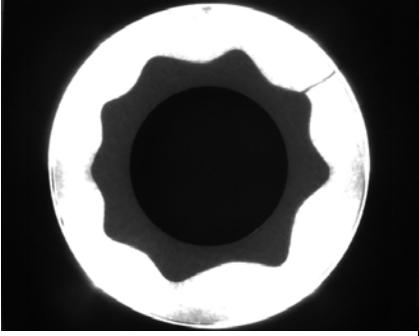
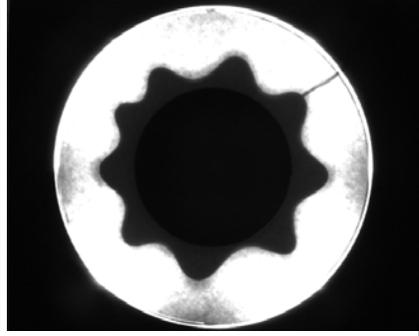
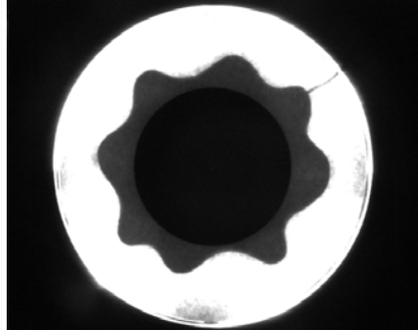
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 T472 H0 9N	PB1 S80190 H0 9N	PB1 Z370 H0 8N
ARR	8,267	10,072	12,035	14,959

Figura 32-3. Evolución de *ARR*

A mayor *ARR*, mayor profundidad de los pliegues

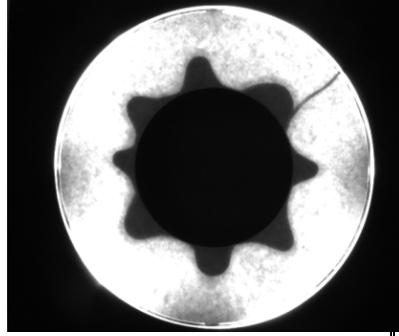
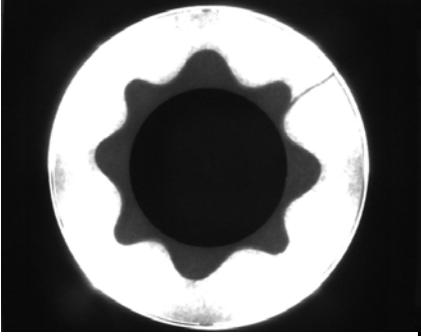
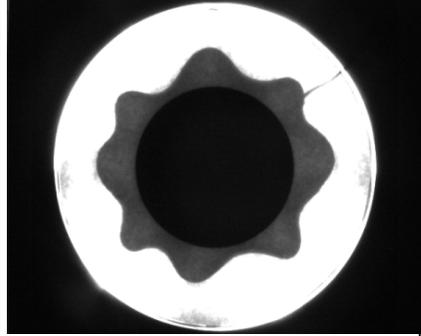
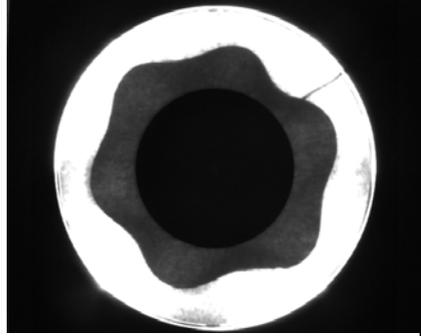
				
Ref.	PB1 7X H135 8N	PB2 Z3254 H90 8N	PB1 ACETEX HO 8N	PB1 N20429 HO 6N
<i>D</i>	1,6549	1,6826	1,7024	1,7376

Figura 33-3. Evolución de la dimensión fractal D

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

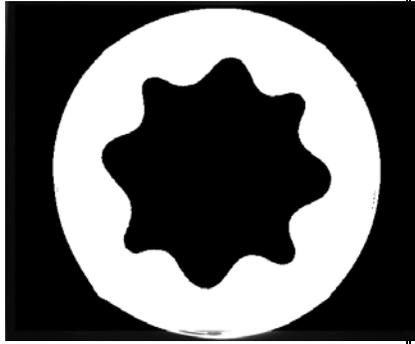
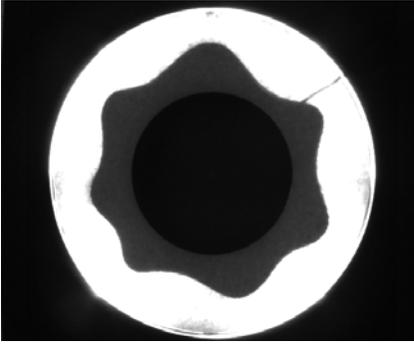
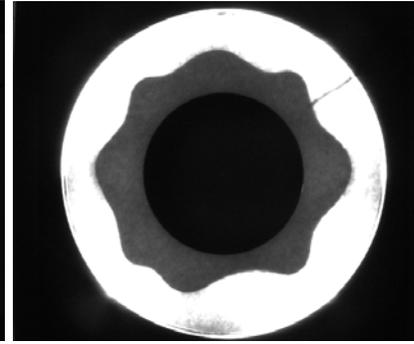
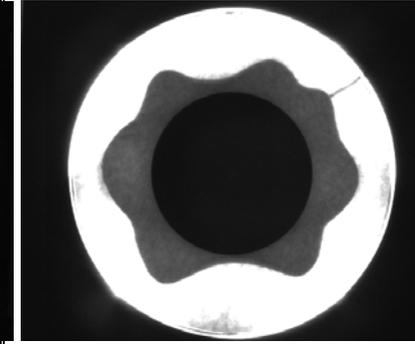
				
Ref.	PB2 Z3254 H135 8N	PB4 S80316 E0 7N	PB3 48847 H0 8N	PB4 P254 H0 7N
DU %	5,033	15,767	19,519	19,519

Figura 34-3. Evolución de *DU*

A menor *DU*%, mayor isometría geométrica del perfil del cayente

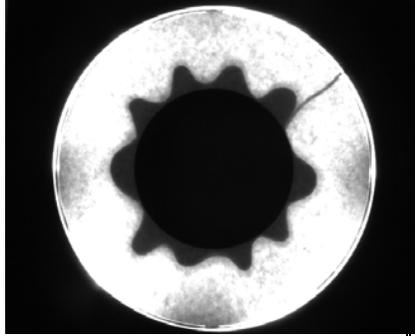
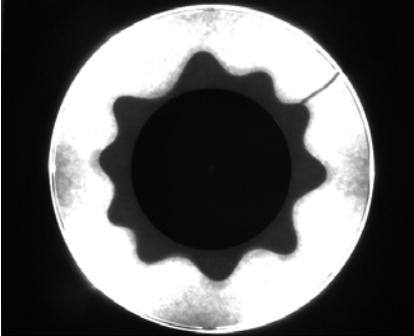
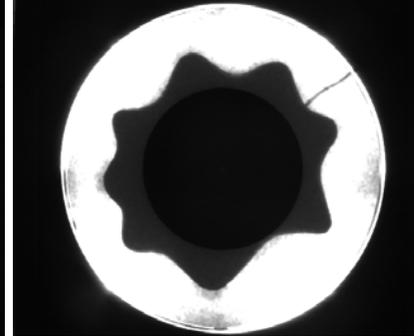
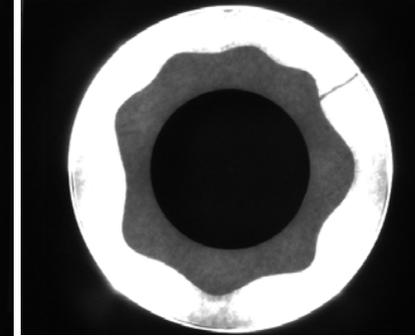
				
Ref.	PB1 7X H0 10 N	PB1 S95001 H0 10 N	PB1 B2482 H0 8N	PB1 E255 H0 8N
<i>H</i>	109,484	117,027	125,309	134,845

Figura 35-3. Evolución de *H*

A mayor *H*, menor rugosidad del perfil del cayente y menor profundidad de los pliegues

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

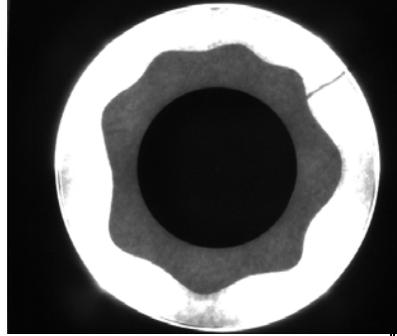
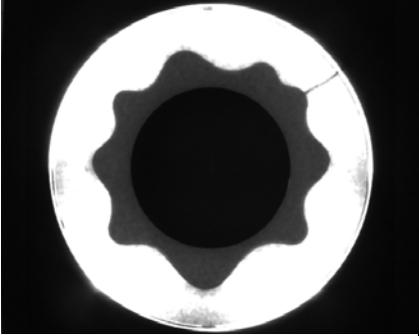
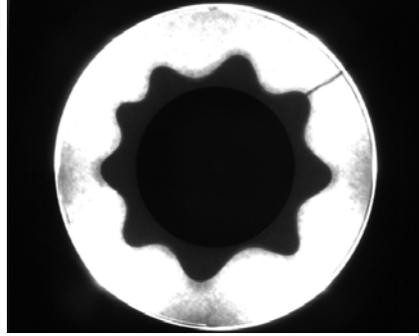
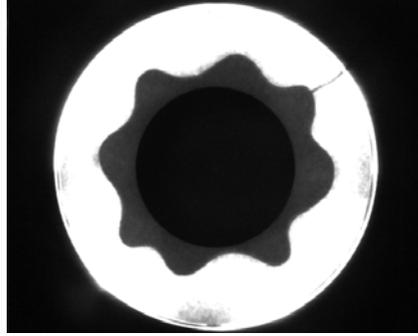
				
Ref.	PB1 E255 H0 8N	PB1 S80196 9N	PB1 S80190 H0 9N	PB1 Z370 H0 8N
WAM	0,061	0,081	0,100	0,126

Figura 36-3. Evolución de *WAM*

A mayor *WAM*, mayor profundidad de los pliegues

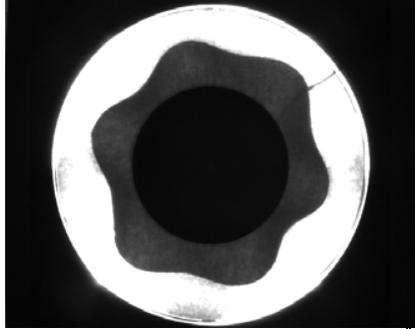
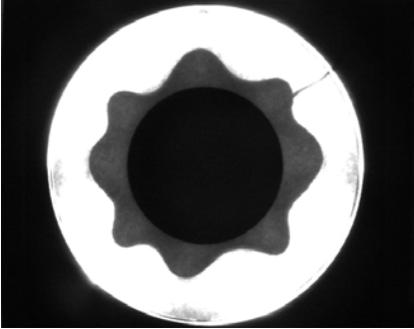
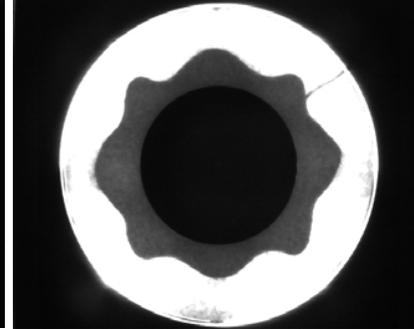
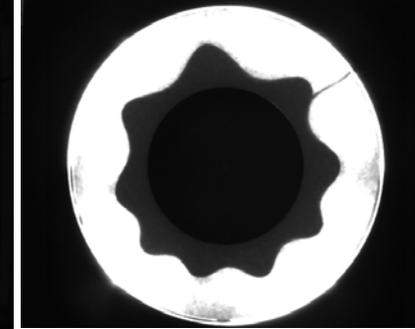
				
Ref.	PB1 N20429 H90 6 N	PB1 ACETEX H0 8N	PB1 P257 H0 8N	PB1 C6300
$\frac{R}{H/\alpha}$	2,221	2,565	2,860	3,259

Figura 37-3. Evolución de $R H/\alpha$

A medida que aumenta H/α , disminuye el ángulo entre nodos consecutivos

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

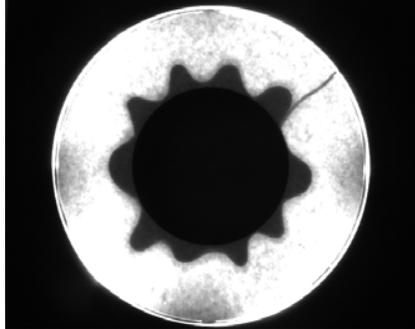
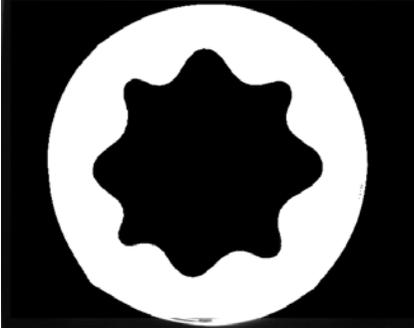
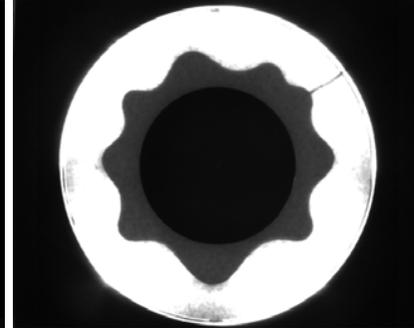
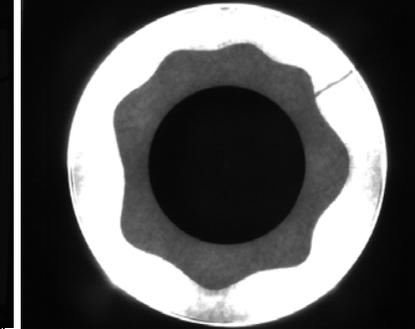
				
Ref.	PB1 7X H0 10N	PB1 Z3254 H0 8N	PB1 S80196 H0 9N	PB1 E255 H0 8N
A/P	39,454	45,775	51,052	58,894

Figura 38-3. Evolución *A/P*

A mayor *A/P*, mayor suavidad del perfil y menor rugosidad

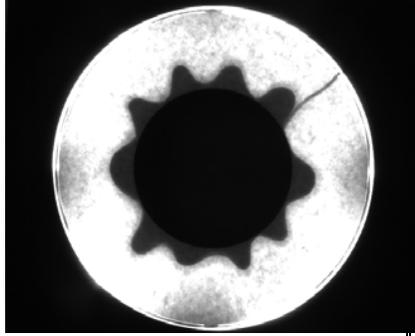
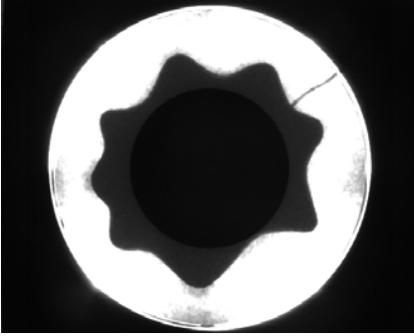
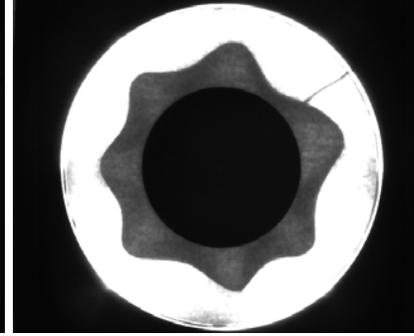
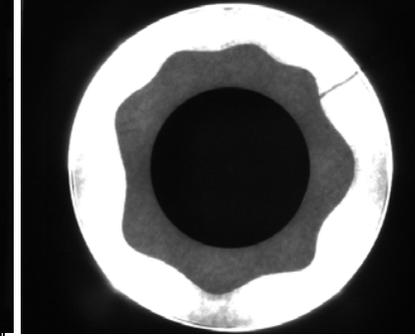
				
Ref.	PB1 7X H0 10 N	PB1 B2482 H0 8N	PB1 L1694 H0 7N	PB1 E255 H0 8N
FSP	1,941	2,461	2,905	3,413

Figura 39-3. Evolución de FSP

A medida que aumenta *FSP*, mayor suavidad adquiere el perfil del cayente.

Del análisis de la matriz de correlaciones de indicadores se observa, en primer lugar, que existe una gran cantidad de indicadores que presentan una elevada correlación con el DR% debido a la relación geométrica entre ellos y que por lo tanto, su determinación no contribuye a solventar las limitaciones que presenta el propio DR%.

Indicador	DR %
FaPR	0,973
VFAR	0,993
fmax	-0,977
fmin	-0,973
A/r	0,909
SF	-0,981
CIRC	0,993
Fsp	0,981
MNS	-0,978
Fractal D	0,996
A/P	0,998
H	0,996

Tabla 3-3. Coeficiente de correlación Pearson entre el DR% y otros indicadores

A pesar de ello, estas correlaciones tan elevadas pueden ser útiles para facilitar el cálculo del DR% sin necesidad de realizar la tediosa operación de recorte y pesado de la zona del papel ocupada por la sombra proyectada por el cayente.

Capítulo 3

En la tabla 3-3 se muestra los indicadores que superan en 0,9 el valor Pearson de su correlación significativa con el DR%. Considerando su aplicabilidad (facilidad y rapidez de cálculo), se ha escogido la longitud media de los valles (VaFR) como indicador que permite obtener el DR% determinando con una regla la longitud de cada valle y posteriormente obtener su media aritmética. Una vez obtenido el Valle medio se aplica la ecuación que se muestra en la figura 40-3:

$$DR\% = -109,9 + 1,416 VaFR$$

Este método tiene la ventaja que no se consume papel calibrado de ensayo y permite ahorrar la operación de dibujado de la sombra proyectada por el cayente así como el posterior recorte y pesado del papel, reduciendo así los posibles errores producidos en éstas operaciones.

En segundo lugar se procede a eliminar la redundancia en los indicadores:

- a) R_{avg} por ser igual a rce y aquel es más complejo de calcular
- b) αFPR y αVFR , porque son deducidas a partir de $FaPR$ y $VaFR$
- c) ARR , porque es una transformación aritmética de dga
- d) $FDIDe\%$ porque transformación de unidades de $FDIDe$
- e) $FDIDe$ por ser equivalente a dga
- f) WAM porque es igual a A/r siendo éste más fácil de calcular

En tercer lugar, para evitar la multicolinealidad entre los indicadores, se han eliminado aquellos que presentan correlaciones superiores a 0,80 (18 y 19). El resultado de este proceso de depuración, nos permite trabajar con sólo 7 indicadores cuya matriz de correlaciones en la tabla 4-3.

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

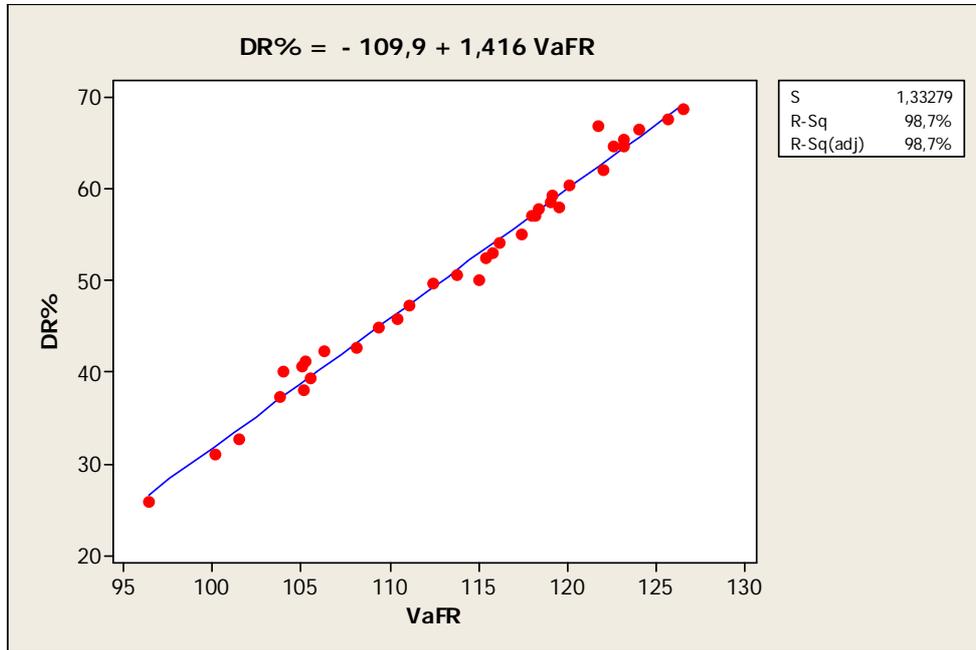


Figura 40-3. Regresión entre DR% y VaFR

FN	FH	DU%	Gp%	VS	D/O	
-0,706	-0,084	0,186	-0,249	-0,170	0,547	DR%
	-0,607	-0,037	0,028	0,210	-0,292	FN
		-0,156	0,154	0,462	-0,236	FH
			0,589	0,060	-0,043	DU%
				0,150	-0,526	Gp%
					-0,135	VS

Tabla 4-3. Matriz de indicadores con coeficiente de correlación igual o menor que 0,80

Capítulo 3

El propósito del análisis factorial es obtener un pequeño número de factores que explican la mayor parte de la variabilidad en las 7 variables. En este caso se han extraído 3 factores que tenían valores propios mayores o iguales a 1,0 (tabla 5-3). Juntos representan el 82,619% de la variabilidad en los datos originales. Puesto que hemos seleccionado el método de componentes principales, las estimaciones iniciales de comunalidad se han establecido para asumir que toda la variabilidad en los datos se debe a factores comunes.

Número del Factor	Valor propio	Porcentaje de la varianza	Porcentaje acumulado
1	2.339	33.416	33.416
2	1.974	28.213	61.628
3	1,469	20.991	82.619
4	0.671	9.592	92.211
5	0.398	5.697	97.909
6	0.125	1.790	99.699
7	0.021	0.301	100.000

Tabla 5-3. Análisis factorial

La tabla 6-3 muestra las cargas factoriales de los factores comunes después de la rotación realizada. La rotación se lleva a cabo con el fin de simplificar la explicación de los factores. También muestra las comunalidades estimadas, que puede interpretarse como la estimación de la proporción de la variabilidad de cada variable atribuible a los

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

factores extraídos.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Comunalidad	Especificidad
DR%	0.967 *	-0.020	-0.154	0.961	0.038
FN	-0.822 *	-0.003	-0.533	0.961	0.038
FH	0.085	0.001	0.932 *	0.877	0.122
DU%	0.190	0.911 *	-0.157	0.892	0.107
Gp%	-0.172	0.840 *	0.174	0.767	0.232
VS	-0.089	0.083	0.734 *	0.553	0.446
D/O	0.571	-0.621 *	-.0.241	0.770	0.229

Tabla 6-3. Matrices de cargas factoriales después de la rotación Varimax. Los asteriscos indican los factores que saturan los Indicadores. El Primer factor satura claramente a los indicadores DR% y FN, el segundo a DU%, Gp y D/O, y finalmente, el tercero satura a FH y VS.

Los factores extraídos pueden ser perfectamente calculados a través de los indicadores estandarizados incluidos en el análisis:

$$f_1 = 0.502 \%DR - 0.401 FN + 0.006 FH + 0.194 \%DU - 0.013 \%Gp - 0.068 VS + 0.242 D/O$$

$$f_2 = -0.094 \%DR + 0.044 FN + 0.056 FH - 0.526 \%DU - 0.428 \%Gp - 0,016 VS + 0.265 D/O$$

$$f_3 = -0.125 \%DR - 0.263 FN + 0.516 FH - 0.161 \%DU + 0.045 \%Gp + 0.407 VS - 0.114 D/O$$

Capítulo 3

El análisis de conglomerados de los datos de la tabla 4-3 permite la construcción de un árbol de clasificación que recibe el nombre de dendrograma (figura 41-3), en el cual se visualiza de forma gráfica el procedimiento de unión seguido, mostrando que grupos se van uniendo, en qué nivel lo hacen, así como el valor de la medida de similitud entre los grupos cuando éstos se agrupan.

Si se trazase una línea horizontal a una distancia razonablemente grande (por ejemplo en el nivel de similitud 37,18) se define los siguientes grupos:

- a) Conglomerado 1. Formado por los indicadores DR% y FN.
- b) Conglomerado 2. Formado por los indicadores FH y VS.
- c) Conglomerado 3. Formado por los indicadores DU, Gp% y FF D/O.

Y estos tres conglomerados coinciden con los factores comunes subyacentes en la estructura de los datos.

El primer conglomerado explica la intensidad del cayente dado que a menor DR% más cayente (ver figura 41-3) y a mayor FN más sensación visual de cayente, si bien no termina de explicar totalmente su forma.

El segundo conglomerado explica parte de su forma, es decir, la severidad o profundidad de los nodos FH, en definitiva la rugosidad de su perfil puesto que a mayor FH menor rugosidad (figura 42-3) así como la regularidad que presenta su severidad VS (figura 43-3).

El tercer conglomerado es independiente de los dos anteriores y explica tanto la isometría geométrica dado que a menor DU% mayor simetría (figura 44-3) y a mayor D/O mayor también será su simetría (figura 45-3), como la irregularidad que adopta el perfil del cayente dado que un Gp% indica que existe una elevada variación de la longitud de los picos de una probeta (figura 46-3).

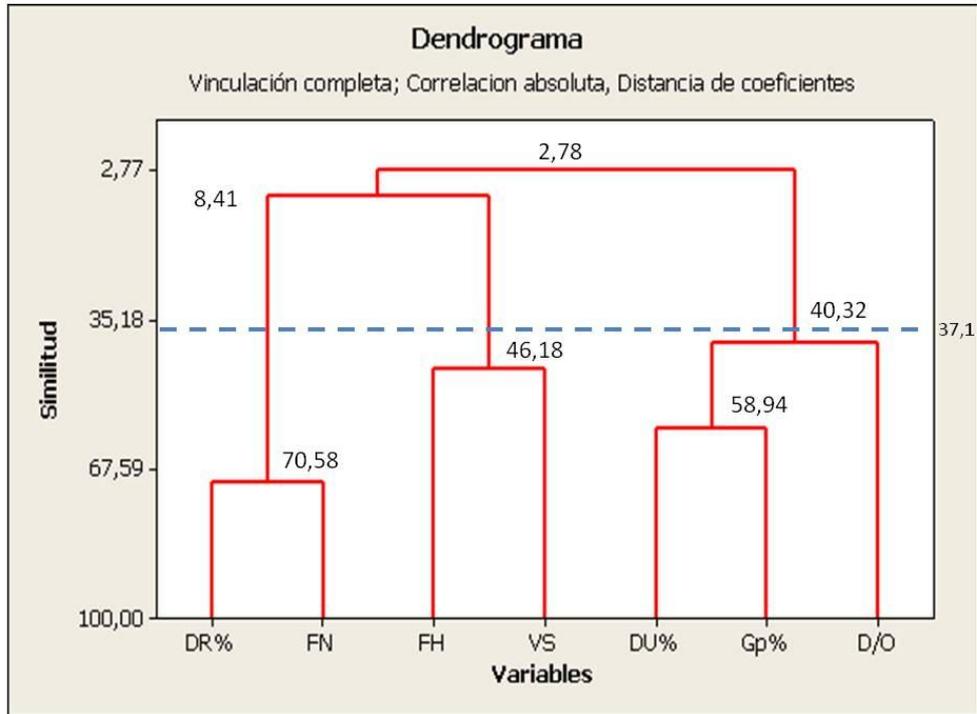


Figura 41-3. Dendrograma de vinculación completa de los 7 indicadores

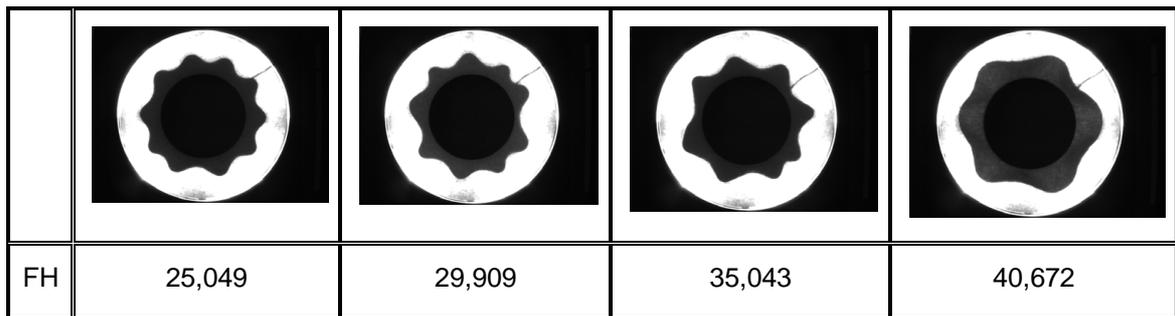


Figura 42-3. Evolución del perfil del cayente según FH

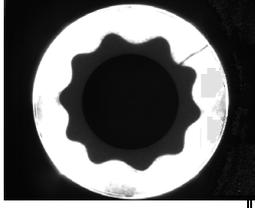
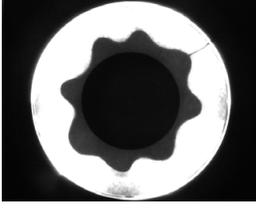
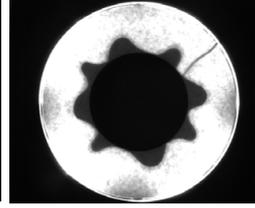
				
VS	0,021	0,060	0,104	0,162

Figura 43-3. Evolución del perfil del cayente según VS

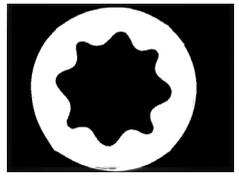
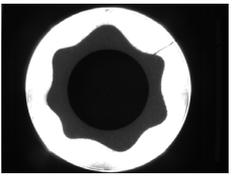
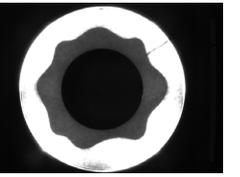
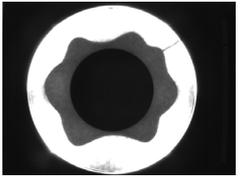
				
DU%	5,033	15,767	19,519	25,074

Figura 44-3. Evolución del perfil del cayente según DU%

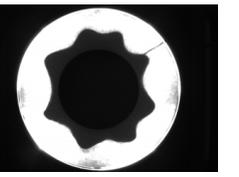
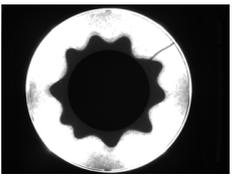
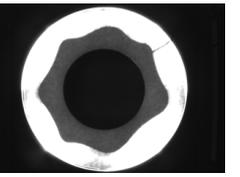
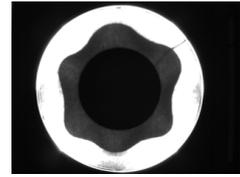
				
D/O	0,950	0,970	0,981	0,999

Figura 45-3. Evolución del perfil del cayente según D/O

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

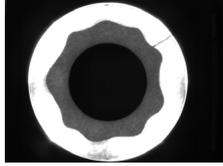
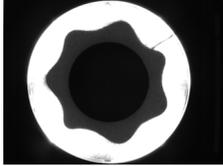
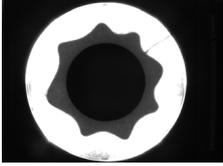
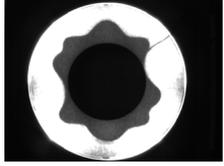
				
Gp%	1,268	1,850	2,665	3,271

Figura 46-3. Evolución del perfil del cayente según Gp%

Los métodos jerárquicos de construcción de los conglomerados imponen una estructura sobre los datos y pueden introducir serias distorsiones en las relaciones originales. Para verificar este hecho se calcula el coeficiente de correlación cofenético, es decir, la correlación entre los valores de la matriz de similitud original y los correspondientes en la llamada matriz cofenética cuyos valores se definen como aquellos que determinan las similitudes entre los indicadores cuando éstos se unen en el mismo conglomerado. El coeficiente de correlación cofenética entre las similitudes de la tabla 4-3 y la definida en el dendrograma (figura 41-3) es 0,74 (este coeficiente vale 1 cuando ambas matrices son iguales), por lo tanto la distorsión introducida es aceptable.

Finalmente se pone a prueba la utilidad de estos 7 indicadores para discriminar la forma del cayente en los 37 tejidos estudiados, observándose que en el 100 % de los casos se cumple el criterio secuencial siguiente:

Cuando tengamos dos tejidos que presenten un DR% igual o similar deberá utilizarse en primer lugar el número de nodos, FN, como criterio discriminatorio para deducir cuál de ellos presenta mayor cayente puesto que a más nodos mayor sensación visual de cayente (figura 48-3).

Capítulo 3

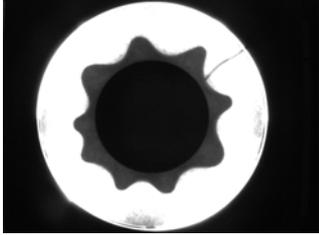
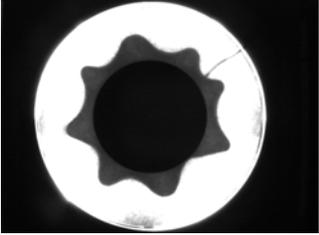
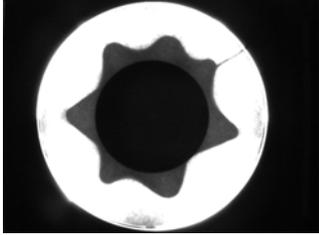
Ref.	A	B	C
			
DR%	39,518	39,893	39,698
FN	9	8	7

Figura 48-3. Perfil del cayente de 3 tejidos con el mismo DR% y diferente FN

A igualdad de DR% y FN, el indicador FH nos servirá para predecir la severidad (nodo más agudo) o rugosidad (profundidad del nodo) del perfil del cayente puesto que a mayor FH mayor rugosidad (figura 49-3).

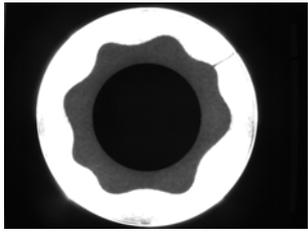
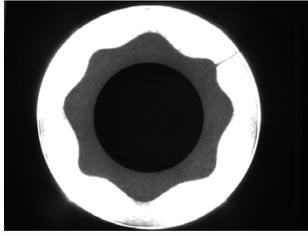
Ref.	D	E
		
DR%	64,934	64,815
FN	8	8
FH	29,208	27,934

Figura 49-3. Perfil del cayente de dos tejidos con el mismo DR% y FN pero con distinto FH

Análisis de los indicadores de cayente de los tejidos de calada

En el caso de que no existan diferencias de DR%, FN y FH, el indicador DU% es el que mejor discrimina la simetría y regularidad con que se distribuyen los nodos del perfil del cayente (figura 50-3).

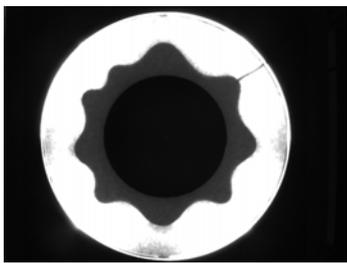
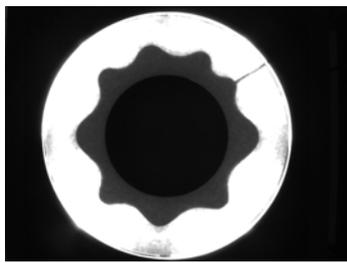
Ref.	F	G
Imagen		
DR%	51,772	51,820
FN	9	9
FH	28,587	28,611
VS	0,0761	0,0605
DU%	17,831	15,722
Gp%	2,506	1,966
D/O	0,9850	0,9839

Figura 50-3. Perfil del cayente de dos tejidos con el mismo DR%, FN y FH, pero con un DU% distinto

El indicador VS complementa los valores obtenidos en FH, si bien no es tan sensible a las variaciones de forma. El Gp% es útil para complementar el DU% puesto que explica la irregularidad de las dimensiones de los picos y finalmente el D/O complementaria a los dos anteriores si bien no será necesario determinarlo porque con

Capítulo 3

los anteriores es suficiente para discriminar la diferencias de forma del cayente. En definitiva, mediante la secuencia de cuatro indicadores (DR%, FN, FH y DU%) podemos deducir la forma del perfil del cayente de un tejido en cuanto a su intensidad, rugosidad e isometría geométrica.

Referencia	Composición	Ligamento	g/m ²
1	WO 100%	Sarga	324,95
2	WO/CV	65/35	269,80
3	WO 100 %	Sarga	210,90
4	PES/CO 50/50	Tafetán	199,67
5	PES 100%	Sarga	195,60
6	PES/CV 65/35	Tafetán	180,23
7	PES 100%	Sarga	172,62
8	CO 100%	Tafetán	162,10
9	CV 100 %	Tafetán	161,25
10	WO 100 %	Sarga	155,00
11	CV 100%	Tafetán	149,0
12	PES/LI 45/55	Tafetán	100,00
13	PES 100%	Tafetán	81,30
14	PES/CV 50/50	Sarga	75,30
15	PES 100%	Tafetán	65,00

Tabla 7-3. Composición, ligamento y gramaje de los 15 tejidos utilizados para la validación del criterio de indicadores utilizados para diferenciar la forma del cayente

Finalmente este criterio secuencial de 4 indicadores, se ha validado experimentalmente con 15 nuevos tejidos de calada (ver tabla 7-3), confirmándose en todos los casos, que los valores numéricos de los indicadores utilizados explican variaciones en la forma del perfil del cayente.

3.6 Conclusiones

Por primera vez se recopila y se analiza cronológicamente el significado matemático del cálculo de los indicadores de cayente propuestos por los investigadores textiles desde 1968 hasta 2013.

Por primera vez, también, se propone una nomenclatura única y clara para los diversos parámetros componentes del cayente así como de los diferentes indicadores.

La mayoría de los 36 indicadores de cayente propuestos hasta la fecha presentan una alta correlación con el DR% debido a la relación geométrica entre el área de la sombra proyectada por el cayente y éstos indicadores.

Una vez depurada la matriz de correlaciones de todos los indicadores calculados, quedan finalmente 7 que son capaces de describir la complejidad del fenómeno del cayente. Dichos indicadores se explican por tres factores comunes y se visualizan en tres clústeres. El primer factor satura DR% y FN, y describe la intensidad del cayente, el segundo factor satura FH y VS y describe la severidad o rugosidad del perfil del cayente. El tercer factor satura DU%, Gp% y D/O explicando la isotropía geométrica y variabilidad de las formas del cayente.

Los pasos a seguir para deducir la forma del cayente del tejido sin disponer de su imagen serán los siguientes:

- a) A menor DR% más cayente presenta el tejido.

Capítulo 3

- b) A igualdad de DR% entre dos tejidos, el que tenga mayor número de nodos (FN), presentará una forma que dará mayor sensación visual de cayente.

- c) A igualdad de DR% y FN, el tejido que tenga mayor FH presentará un perfil de cayente más severo y rugoso.

- d) A igualdad de DR%, FN y FH, el tejido que tenga una menor DU% presentará un perfil con una mayor isotropía geométrica y menor irregularidad de distribución de los nodos.

En definitiva, mediante 4 indicadores distintos (DR%, FN, FH y DU%) de fácil determinación es posible deducir la forma del cayente de un tejido de calada en cuanto a su intensidad, rugosidad e isometría geométrica.

Dicho criterio se ha validado, experimentalmente, con 15 nuevos tejidos de calada comerciales de diversas composiciones ligamentos y gramaje.

Se propone, también, el uso del Valle medio (VaFR) como herramienta para facilitar el cálculo del DR% debido a su elevada correlación con éste (0,993), a la facilidad de su obtención y al ahorro que representa en tiempo y papel calibrado de ensayo.

A lo largo de los últimos 45 años, las investigaciones sobre el cayente de los tejidos se han basado en una técnica de análisis (Cusick drapemeter) que reduce un complejo fenómeno tridimensional a una imagen bidimensional, de la cual ha podido estudiarse detalladamente su geometría bidimensional con el fin de inferir su aspecto tridimensional. Ésta técnica, aunque útil para un estudio elemental del fenómeno, presenta notables limitaciones de tal forma que el cayente no puede ser descrito mediante un único indicador sino con una serie de ellos.

La complejidad de un fenómeno multidimensional como es el cayente de los tejidos debería de abordarse mediante técnicas de análisis que permitan estudiar esta realidad tridimensional en toda su extensión.

3.7 Bibliografía

- (1) Cusick, G.E. The measurement of fabric drape. *Journal of The Textile Institute*, 1968, 59 (6), pp. 252-260.
- (2) Chu, C.C., Platt, M.M., Hamburguer, W. Investigation on the Factors Affecting the Drapeability of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1960, vol. 20, pp. 66-67.
- (3) Stylios, G. K., Zhu, R. The Characterisation of the Static and Dynamic Drape of Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 1997, vol. 88 (4), pp. 465-475.
- (4) Jeong, Y. J. A Study of Fabric-Drape Behaviour with Image Analysis Part I: Measurement, Characterisation, and Instability. *Journal of the Textile Institute*, 1998, vol. 89 (1), pp. 59-69.
- (5) Stylios, G.K., Wan, T.R. The concept of virtual measurement 3D fabric drapeability. *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 11 (1), 1999, pp. 10-18.
- (6) Robson, D., Long, C. C. Drape Analysis using Image Techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2000, vol. 18 (1), pp. 1-8.
- (7) May-Plumlee, T., Eischen, J. Kenkare, N.S., and P. Pandurangan. (2003). "Evaluating 3D Drape Simulations: Methods and Metrics", in *Proceedings of International Textile Design and Engineering Conference (INTEDEC)*, Edinburgh, Scotland, September 22–24, 2003.
- (8) Jevsnik, S., Gersak, J. Modelling the Fused Panel for a Numeric Simulation of Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2004, vol. 12, pp. 47.
- (9) Park, C.K., Kim, S., Yu, W.R. Quantitative Fabric Drape Evaluation System Using Image Processing Technology (Part 1: Measurement System and Geometric Model). *Journal of Testing Evaluation*, 2004, Vol 32 (2), pp. 131-137.

Capítulo 3

- (10) Sharma, K.S., Behera, B.K., Roedel, H., Schenk, A. Effect of sewing and fusing of interlining on drape behaviour of suiting fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*. Vol 17 (2), 2005, pp. 75-90.
- (11) Mizutani, C., Amano, T., Sakaguchi, Y. A New Apparatus for the Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75 (1), pp. 81-87.
- (12) Jevsnik, S., Zunic-Lojen, D. Drape Behaviour of Seamed Fabrics. *Fibers and Polymers*, 2007, vol. 8 (5), pp. 550-557.
- (13) Behera, B. K.; Pattanayak, A. K. Measurement and modelling of drape using digital Image processing. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2008, vol. 33, pp. 230-238.
- (14) Payvandy, P. *Evaluation of Fabric Drape Using Image Processing and Fractal Dimension*. MVIP, 2011. The 7th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing. Iran University of Science and Technology. 16-17 november 2011.
- (15) Al-Gaadi, B.; Göktepe, F.; Halász, M. A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*, 2012, 82 (5): 502-512.
- (16) Sanad, R., Cassidy, T., Cheung, V., Evans, E. Fabric and Garment Drape Measurement –Part 2. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2013, 6(1). 1-22.
- (17) Kaufman L. y Rousseeuw P.J. *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1990.
- (18) Berry, W.D., Feldman, S.. *Multiple regression in practice. Series: Quantitative Application in the Social Sciences*. SAGE. Beverly Hills, 1985.
- (19) Hutcheson, G., Sofroniu, N.. *The Multivariate Social Scientist*. SAGE. London, 1994.

CAPÍTULO 4

MEDIDA DEL CAYENTE MEDIANTE EL MÉTODO “BOX-COUNTING”

INDICE	página
1 Introducción	4-2
2 Objetivos	4-2
3 El método “Box-Counting”	4-2
4 Materiales y métodos	4-4
5 Resultados y discusión	4-5
6 Conclusiones	4-9
7 Bibliografía	4-10

Capítulo 4

MEDIDA DEL CAYENTE MEDIANTE EL METODO “BOX-COUNTING”

RESUMEN

El método de “Box-Counting” es usado para la determinación de la dimensión fractal D de la curva del perfil del cayente de 36 tejidos comerciales de calada de un amplio espectro de composiciones, ligamentos y gramajes. Se encuentra que la dimensión D y el índice de cayente DR% son equivalentes, pero la dimensión D varía muy lentamente. Se concluye que el estudio del comportamiento fractal de la curva del cayente no contribuye a mejorar la interpretación del fenómeno físico-mecánico dado por el método clásico de Cusick.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Fabric drape measurement using Box-Counting method. *Fibres and Textiles in Eastern Europe* (in press).

4.1 Introducción

Aprovechando la potencialidad de las técnicas de procesado de imágenes, recientemente se ha propuesto un nuevo enfoque al estudio del perfil de la curva del cayente del tejido mediante la determinación de su dimensión fractal (1). La utilización de esta nueva metodología podría representar un avance significativo teniendo en cuenta la potencialidad de las técnicas de análisis fractal en el estudio de perfiles de curvas y su efectividad para el reconocimiento de patrones de objetos. El autor del estudio antes citado calculó la dimensión fractal de 3 tipos de tejidos de calada distintos mediante el método Box counting (2) y concluyó que este índice permite extraer mayor información sobre la forma del cayente de la curva que el conocido índice de cayente (DR%) (3).

4.2 Objetivos

El objetivo de este capítulo, es determinar la efectividad del método Box counting calculando la dimensión fractal de 36 tejidos de calada comerciales de un amplio espectro de composiciones, ligamentos y gramajes.

4.3 El método Box- Counting

A partir de un segmento, un cuadrado o un cubo de longitud 1 se pueden escalar por ε y cubrir estas figuras geométricas por $N(\varepsilon)$ figuras similares de acuerdo con la ley de potencias siguiente:

$$N(\varepsilon) = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^D$$

El exponente D es la dimensión de la figura estudiada: 1, en el caso del segmento, 2 en el cuadrado y 3 en el cubo. Por lo tanto, las figuras geométricas clásicas tienen dimensiones enteras.

La ley anterior puede aplicarse a figuras de estructuras auto-similares, es decir, aquellas que se generan por repetición de un patrón ó modelo arquitectónico y, en consecuencia, tienen la misma representación al aumentar ó reducir la escala. Estas figuras se denominan fractales (matemáticos), y el coeficiente D es su dimensión fractal, que, según la ley de potencias, vale:

$$D = \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)}$$

La dimensión fractal es una dimensión decimal. Al estar situada entre dos números enteros, los fractales no pueden tratarse como formas "normales".

Los fractales naturales no son estrictamente auto-similares y la ley de potencias puede validarse para valores de ε muy pequeños:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)} .$$

El método más extendido en la literatura científica para estimar la dimensión fractal es el de "Box-Counting" (1), que se sintetiza como sigue: se superpone a la figura una cuadrícula de longitud de lado de la celda ε , y se contabilizan el número de ellas que contienen a la figura original; repitiéndose el conteo para otros tamaños de celda ε . Entonces, la pendiente de la ecuación de regresión entre $\ln N(\varepsilon)$ y $\ln(1/\varepsilon)$ coincide con la dimensión D :

$$\ln \cdot N(\varepsilon) = \ln \cdot K + D \cdot \ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)$$

Además de la dimensión “Box-Counting” existen otras dimensiones: la dimensión de correlación (que juntamente con la de Box-Counting son las más usadas por su fácil implementación), la dimensión de Hausdorff (desde el punto de vista teórico es la más importante), la dimensión Rényi, la dimensión de información, etc. Atendiendo a esta diversidad, la dimensión fractal de Box-Counting se identifica en la literatura científica por D_c . (en todo el texto se ha omitido el subíndice porque sólo se utiliza el método de “Box-Counting”).

4.4 Materiales y métodos

En este capítulo se han analizado un total de 36 tejidos de calada comerciales de un amplio espectro de composiciones, ligamentos y gramajes que cubren los usos de pañería, forrería y camisería, tal como se indica en la tabla 1-4.

Los tejidos estudiados han sido analizados mediante el drapómetro digital UPC descrito en el capítulo 2 de esta tesis.

De cada tejido, se han cortado 4 probetas al azar y una vez acondicionadas en clima estándar, en cada una de ellas se han realizado 3 determinaciones del haz y otras 3 del envés. Los resultados obtenidos son por lo tanto el promedio de 24 mediciones. Los ensayos se han realizado en el laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universidad Politécnica de Catalunya.

El cálculo de la dimensión fractal de cada imagen de cayente (24 imágenes por cada tejido), se ha realizado mediante un programa en MATLAB del perfil

Medición del cayente mediante el método "Box-Counting"

del cayente. A partir de un cuadrado de 360 x 360 mm, el programa realiza una progresiva reducción de escala de potencias de 2, en 10 etapas.

4.5 Resultados y discusión

Tal como se muestra en la figura 1-4, los valores de la dimensión fractal D disminuyen a medida que aumenta la rugosidad del perfil del cayente, o lo que es lo mismo, aumenta a medida que lo hace la suavidad de la curva. Esta tendencia está en correspondencia con los valores DR% puesto que existe equivalencia con D (coef. Pearson de 0,996, p-valor de 0,000) (figura 2-4).

Ref.	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	DR%	Dc
1	WO/PAN 60/40	Doble tela	447,41	64,765	1,7257
2	PES/CV/EA 64/31/5	Doble tela	371,45	50,727	1,7031
3	PES/CV/EA 78/18/4	Doble tela	341,33	38,129	1,6806
4	WO/PA 90/10	Doble tela	333,26	64,767	1,7255
5	CO/WO/PA 76/19/5	Tela a 2 caras	309,14	67,670	1,7298
6	WO 100%	Raso	299,41	42,664	1,6896
7	PES/CV/EA 78/17/5	Espiguilla	279,08	30,416	1,6825
8	CO 100%	Esterilla	241,16	65,417	1,7265
9	WO/EA 99/1	Crep	232,16	37,350	1,6785
10	PES/CV/EA 65/31/4	Tafetán	221,17	31,065	1,6643
11	CO 100%	Espiguilla	214,00	57,972	1,7148

Capítulo 4

Ref.	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	DR%	Dc
12	WO 100%	Sarga	209,00	53,081	1,7068
13	WO/PES 60/40	Espiguilla	199,08	47,300	1,6972
14	WO 100%	Sarga	191,08	44,840	1,6932
15	LI 100%	Tafetán	186,90	57,863	1,7152
16	PES 100%	Sarga	172,622	25,848	1,6549
17	CV/WO/PES 43/34/24	Tafetán	171,25	32,578	1,6688
18	CO 100%	Sarga	169,5	45,785	1,6938
19	PES/LI 55/45	Sarga	163,58	57,863	1,7152
20	WO/LI/CO/PA 36/32/16/16	Sarga	157,71	49,624	1,7004
21	CO/PES 65/35	Espiguilla	135,17	62,059	1,7210
22	CO/PES 65/35	Tafetán	90	55,148	1,7103
23	PES 100%	Raso	90	59,383	1,7171
24	PES/CV 60/40	Raso	90	66,535	1,7294
25	CV/CA 55/45	Sarga	80	40,039	1,6849
26	PES 100%	Raso	78,4	57,193	1,7134
27	CV/PES	Jacquard	77,5	60,431	1,7182
28	PES 100%	Sarga	76,5	68,753	1,7318

Medición del cayente mediante el método "Box-Counting"

Ref.	Composición %	Ligamento	Gramaje g/m ²	DR%	Dc
29	CV 100%	Sarga	72	41,254	1,6842
30	CV 100%	Tafetán	70	40,603	1,6856
31	CV/PES 60/40	Sarga	70	57,089	1,7137
32	CV/PES 60/40	Sarga	68,5	54,199	1,7081
33	CA 100%	Tafetán	68	42,328	1,6900
34	PES/CV 50/50	Tafetán	65	52,550	1,7055
35	PES/CV 50/50	Sarga	65	50,076	1,7036
36	PES 100%	Tafetán	50	58,599	1,7168

Tabla 1-4. Composición, ligamento, gramaje, DR% y dimensión fractal D de los tejidos de calada estudiados, ordenados de forma decreciente según el gramaje.

También se constata un reducido escalonamiento de la valores D , es decir, a pesar de que los perfiles de los cayente cambian notablemente de forma, este cambio no se traduce cuantitativamente en los valores D , tal como se muestra en la figura 3-4.

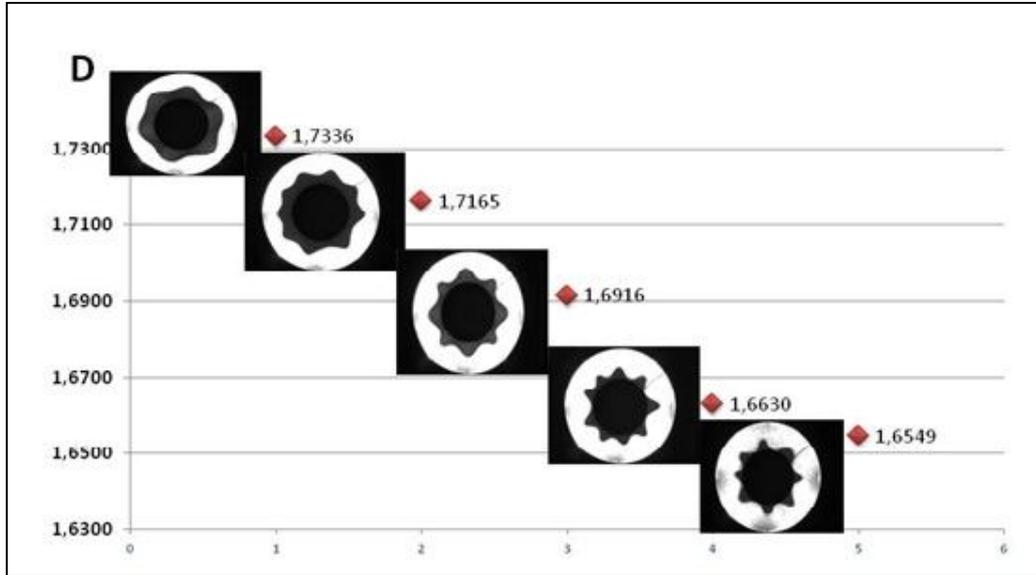


Figura 1-4. Evolución de la dimensión fractal D y la rugosidad de la forma de la curva del cayente

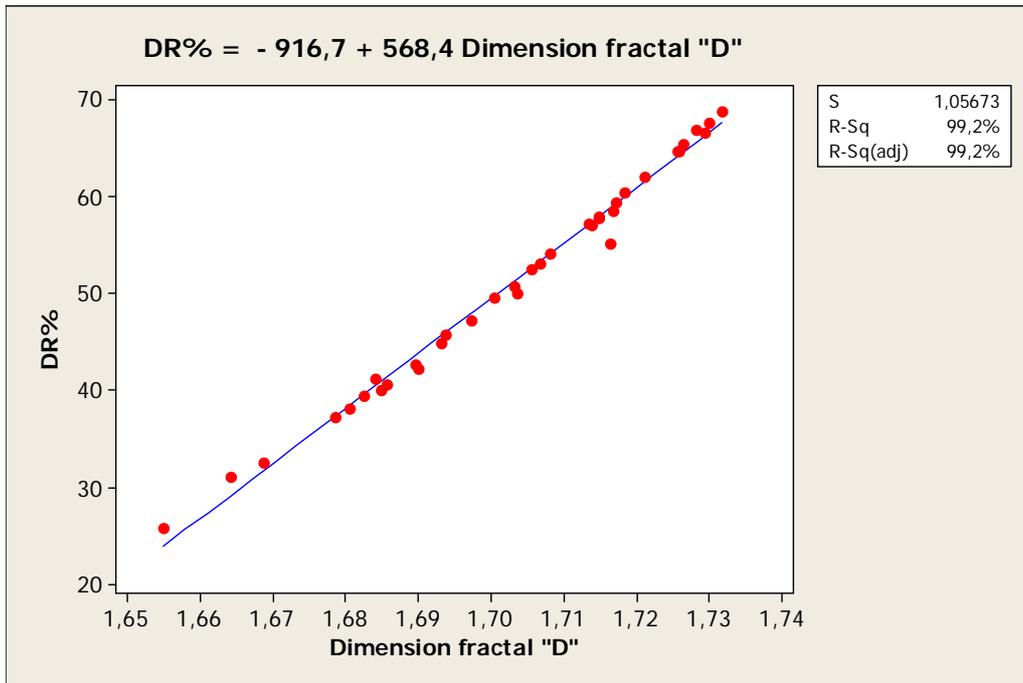


Figura 2-4. Regresión entre DR% y dimensión fractal D de los tejidos estudiados

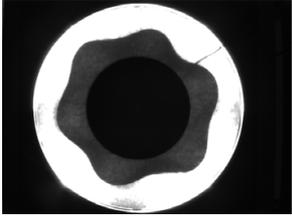
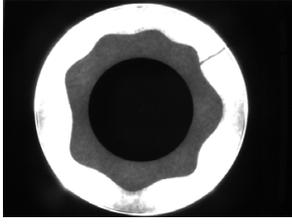
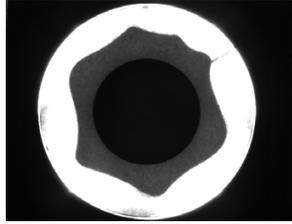
Ref.	1	2	3
			
D	1,7336	1,7335	1,7297
DR %	71,359	69,960	68.170

Figura 3-4. Forma del perfil del cayente, dimensión fractal D y DR% de tres muestras.

4.6 Conclusiones

- a) El perfil del cayente de un tejido sobre una superficie plana es una curva fractal puesto que su dimensión, D , calculada mediante el método "Box-Counting" es superior a su dimensión topológica -que es 1. La dimensión fractal de los tejidos analizados en este estudio oscila entre 1,6513 y 1,7377.
- b) A medida que disminuye la dimensión fractal D , aumenta la rugosidad del perfil del cayente y viceversa -a mayor D , el perfil es más suave.
- c) La dimensión fractal D y el Índice de cayente (DR%) presentan una elevada correlación (99,2 %).
- d) Los valores DR% de los tejidos estudiados oscila entre 71,359 y 24,877 mientras que la dimensión fractal D de los mismos oscila entre 1,7336 y 1,6549. A pesar de que los perfiles de los cayentes varían

notablemente, estos cambios no se traducen cuantitativamente en los valores de D (figura 3-6).

En definitiva, la dimensión fractal obtenida por el método “Box-Counting” no presenta suficiente sensibilidad para detectar las diferencias de forma de los perfiles del cayente. Esta falta de sensibilidad es debido a que la rugosidad que presentan los perfiles es rectificable, puesto que la distancia entre dos puntos cualesquiera de su contorno es finita.

4.7 Bibliografía

- (1). Payvandy, P. *Evaluation of Fabric Drape Using Image Processing and Fractal Dimension*. MVIP, 2011. The 7th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing. Iran University of Science and Technology. 16-17 november 2011.
- (2) Payvandy, P., Yousefzadeh-Chimeh Lafiti, M. A note on neurofractal-based defect recognition and classification in nonwoven web images. *The Journal of The Textile Institute*. Vol. 101, No.1. January 2010:46-51.
- (3) Cusick, G. E. The Measurement of Fabric Drape. *Journal of the Textile Institute*, 1968, vol. 59, no. 6, pp. 253-260.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO DEL ANILLO-UPC Y EL CAYENTE

INDICE	página
1 Introducción	5-2
2 Objetivos	5-3
3 Materiales y métodos	5-3
3.1 Análisis de correlaciones canónicas	5-6
4 Resultados	5-8
5 Conclusiones	5-14
6 Bibliografía	5-14

Capítulo 5

ANALISIS DE LA CORRELACION ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO DEL ANILLO-UPC Y EL CAYENTE

RESUMEN

Se han analizado 7 indicadores de cayente y 4 parámetros del ensayo del anillo-UPC de 15 tejidos comerciales de pañería de diferentes composiciones, gramajes y ligamentos mediante correlaciones canónicas.

Se encuentra la ecuación de regresión que relaciona el DR% con el parámetro “h” del ensayo del anillo. Se concluye que el método de ensayo del anillo puede ser utilizado a nivel industrial como herramienta para el control rutinario del cayente en los procesos de acabado de tejidos de pañería sin la necesidad de un equipo adicional específico para la determinación del cayente.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Use a modified ring method to predict drape properties of drapery fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2014 (en prensa).

1. Introducción

Tal como se ha expuesto en el capítulo 1, el cayente, es una propiedad estética de los tejidos que puede llegar a ser un factor determinante en el criterio de compra de determinados artículos, es por ello que su medición, adquiere una especial importancia tanto industrial como económica y comercial.

En el capítulo 2 se ha explicado, también, que desde principios de los años 60 del siglo XX el cayente se determina mediante el drapómetro Cusick (1). Se trata de un ensayo relativamente lento que requiere una cierta habilidad en la preparación y manipulación de las probetas lo que da lugar a ciertos errores. Por otra parte en cada ensayo es preciso usar una balanza y usar un papel calibrado específico para este tipo de ensayo.

El desarrollo de la electrónica digital, sin embargo, ha permitido substituir el ojo humano por cámaras digitales que captan la sombra proyectada por el cayente en los drapómetros de tipo Cusick. La información digital obtenida puede tratarse mediante un software de análisis de imágenes lo cual ha significado un avance cualitativo muy notable en el estudio del fenómeno puesto que ha podido estudiarse la geometría de la proyección del cayente mediante herramientas mucho más potentes.

A pesar de estas mejoras tecnológicas, no deja de ser un ensayo relativamente lento y caro que requiere disponer de un equipo específico para dicho ensayo.

2. Objetivos

El principal objetivo de este capítulo, es comprobar si puede utilizarse el método de ensayo del anillo (2) como método alternativo al drapómetro Cusick, para controlar, a nivel industrial, las principales características del cayente de los tejidos. Este nuevo método se usaría, únicamente, para el control de calidad del proceso de acabado de tejidos de pañería y su principal ventaja es que requiere únicamente el uso de un dinamómetro convencional, de uso habitual en la industria textil, así como un pequeño aro metálico que puede fabricarse en cualquier taller mecánico.

3. Materiales y métodos

En este capítulo se han estudiado un total de 15 tejidos comerciales de pañería, cuyas características estructurales se describen en la tabla 1-5.

Los ensayos se han realizado en atmósfera estándar y con las probetas acondicionadas en el Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya.

El principio de funcionamiento del drapómetro Cusick, se ha explicado detalladamente en el capítulo 2.

En este capítulo, las determinaciones del cayente, se han realizado mediante un drapómetro digital-UPC descrito, también el capítulo 2.

Para cada tipo de tejido se han preparado un total de 4 probetas de 30 cm de diámetro utilizándose un disco de soporte de 18 cm de diámetro. De cada probeta se han realizado 3 ensayos (en tres posiciones distintas con giros de 0, 90 i 135° respectivamente), tanto por el haz como por el envés obteniéndose, por lo tanto, la media aritmética de las 24 determinaciones.

Capítulo 5

Ref.	Composición	g/m ²	Ligamento
S-80316	WO/PAC 60/40	447,41	Doble tela
S-80196	ES/CV/ELAST 64/31/5	371,50	Doble tela
H-437	PES/RAI/ELAST 78/18/4	341,33	Sarga
S-20906	WO/PA 90/10	333,26	Doble tela
N-10123	CO/WO/PA 76/19/5	309,14	Tela a 2 caras
S-80190	WO 100%	299,41	Raso
N-1342	PES/RAI/ELAST 78/17/5	279,08	Sarga
S-95001	WO/ELAST 99/1	232,16	Crep
C-1854	PES/RAI/ELAST 65/31/4	221,17	Tafetán
C-6300	WO 100%	209,00	Sarga
NH-409	WO/PES 60/40	199,08	Sarga-Espiguilla
SC-2684	WO 100%	191,08	Sarga
M-4015	CV/WO/PES 43/34/24	171,25	Tafetán
L-1694	PES/LLI 55/45	163,58	Sarga
B-2482	WO/LLi/CO/PA 36/32/16/16	157,71	Sarga

Tabla 1. Características de los tejidos de calada de pañería, utilizados en éste estudio.

Para el estudio del cayente se han utilizado los siguientes indicadores:

- a) Índice de cayente, $DR\%$ (1)
- b) Número de Nodos, FN (3)

- c) Altura media de los nodos FH (4)
- d) Variabilidad de la severidad de los nodos VS (5)
- e) Irregularidad del cayente. $DU\%$ (6)
- f) Distribución de los nodos $Gp\%$ (7)

El significado geométrico y forma de cálculo ha sido descrito detalladamente en los capítulos 2 y 3 de ésta tesis.

Estos 7 indicadores se han escogido para cuantificar aspectos distintos del cayente: $DR\%$ y FN explican la intensidad del cayente, FH y VS explican parte de su forma, severidad o profundidad de los nodos, en definitiva la rugosidad de su perfil, mientras que $DU\%$, $Gp\%$ y D/O explican la isometría geométrica y la irregularidad que adopta su perfil.

Para el ensayo del anillo se ha utilizado el método “anillo-UPC” descrito en el capítulo 2 y que ha sido desarrollado para ésta tesis (2).

En este ensayo se han analizado, para cada tejido, un total de 4 probetas circulares de 30 cm de diámetro, tanto por el haz como por el envés, calculando los valores medios de los 8 ensayos y determinando:

- a) la fuerza máxima de extracción, F_{max} (mN)
- b) desplazamiento necesario para alcanzarla, DF_{max} (mm)
- c) la distancia “h” entre el inicio del ensayo y el punto donde la probeta toca el aro (figura 1-5 imagen 3),
- e) ángulo del cayente (α), deducido trigonométricamente a partir de “h” y el radio del aro (figura 1-5, imagen 3).

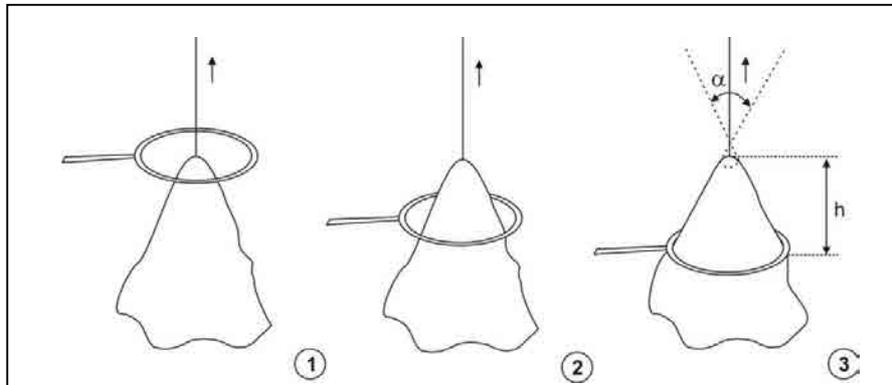


Figura 1-5. Diversas fases del ensayo del anillo-UPC (2)

3.1 Análisis de correlaciones canónicas

El análisis de correlación canónica es un método de análisis multivariante. Su objetivo es buscar las relaciones que pueda haber entre dos grupos de variables y la validez de las mismas. La correlación canónica predice múltiples variables dependientes a partir de múltiples independientes. El análisis de correlación canónica es, por lo tanto, una técnica descriptiva para explorar las relaciones entre dos conjuntos de variables que se denominan, sólo a efectos nominativos, variable X y variable Y. Estas relaciones se cuantifican por medio de las variables canónicas.

Las variables canónicas se obtienen como combinación lineal de las variables reales tipificadas:

$$u_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$$

$$v_i = b_{i1}Y_1 + b_{i2}Y_2 + \dots + b_{iq}Y_q$$

$$i = 1 \dots r$$

$$r = \min(p,q)$$

Los coeficientes de las variables canónicas son escogidos de forma secuencial: primero se busca u_1 y v_1 con la correlación máxima, posteriormente el par u_2, v_2 que tenga una correlación máxima no superior a la primera, sujeta a que estas últimas variables no estén correlacionadas con las demás, y así hasta u_r, v_r .

El procedimiento de maximización (paso 1) se puede sintetizar como sigue:

- Sea X un vector aleatorio de dimensión p .
- Sea Y un vector aleatorio de dimensión q .
- Sea S_{xx} la matriz de varianzas-covarianzas de X .
- Sea S_{yy} la matriz de varianzas-covarianzas de Y .
- Sea $U = a'X$ y $V = b'Y$ combinaciones lineales de X e Y respectivamente.

La correlación entre ambas variables canónicas es:

$$r_{u,v} = \frac{a'S_{xy}b}{(a'S_{xx}a)^{1/2}(b'S_{yy}b)^{1/2}}$$

Y se trata de maximizar r_{uv} sujeto a las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} a'S_{xx}a &= 1 \\ b'S_{yy}b &= 1 \end{aligned}$$

- La solución a' se obtiene calculando los vectores propios asociados a los valores propios ó eigenvalores λ de la ecuación característica de la matriz:

$$S_{xx}^{-1}S_{xy}S_{yy}^{-1}S_{yx}$$

- La solución b' se obtiene calculando los vectores propios asociados a los valores propios λ de la ecuación característica de la matriz:

$$S_{yy}^{-1}S_{yx}S_{xx}^{-1}S_{xy}$$

Los valores propios λ_i ($i=1\dots r$) son los cuadrados de las correlaciones entre las variables canónica – indicado por R^2 en el análisis – (tabla 4-5) y representa la cantidad de varianza compartida entre las dos variables canónicas.

Finalizado el análisis de correlación canónica, se puede seleccionar aquellas variables (tanto dependientes como independientes) que aparecen ser significativamente relacionadas y llevar a cabo otros análisis sin las restantes variables ó realizar regresiones con dichas variables.

4. Resultados

Se ha procedido a estudiar las correlaciones lineales de los indicadores de cayente por una parte y de los parámetros del método del anillo por otra (ver tablas 2-5 y 3-5).

Se consideran dos grupos de variables con correlaciones internas menores de 0,7, con el fin de evitar la multicolinealidad en el análisis que dificultaría la interpretación de los coeficientes. El primer grupo está formado por cuatro indicadores del cayente (DR%, DU%, Gp%, VS) de los tejidos de pañería y el segundo por dos parámetros del método del anillo-UPC (h y F_{max}).

Correlación entre el método anillo-UPC y el cayente

FN	FH	DU%	Gp%	VS	D/O	
- 0,888 0,000	-0,041 0,885	0,052 0,853	-0,586 0,022	0,183 0,514	0,595 0,019	DR%
	-0,041 0,885	-0,313 0,256	0,244 0,381	-0,340 0,215	-0,236 0,398	FN
		0,708 0,003	0,700 0,004	0,448 0,094	-0,692 0,004	FH
			0,539 0,038	0,587 0,021	-0,623 0,013	DU%
				0,192 0,492	-0,826 0,000	Gp%
					-0,225 0,420	VS

Tabla 2-5. Matriz de correlaciones de los indicadores de cayente. La primera cifra de cada recuadro corresponde a R y la situada debajo al p-valor

α	F_{\max}	DF_{\max}	
-0,998 0,000	-0,685 0,005	-0,098 0,727	h
	0,705 0,003	0,127 0,652	α
		0,738 0,002	F_{\max}

Tabla 3-5. Matriz de correlaciones de los parámetros del ensayo del anillo-UPC. La primera cifra de cada recuadro corresponde a R y la situada debajo al p-valor

Capítulo 5

A través del análisis de las correlaciones canónicas se busca una combinación de variables en cada grupo –variables canónicas– tal que dichas combinaciones presenten un porcentaje elevado de la varianza compartida – coeficiente de determinación-.

La tabla 4-5 muestra las dos primeras correlaciones canónicas, pero sólo la primera tiene una correlación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95,0%.

Núm.	R ²	Correlación	Lambda	Chi-Cuadrado	Grados libertad	Valor-p
1	0,905	0,951	0,0622	29,151	8	0,000
2	0,343	0,586	0,656	4,420	3	0,219

Tabla 4-5. Correlaciones Canónicas

Los coeficientes del primer par de variables canónicas U_1 , V_1 son:

$$U_1 = -0,901 DR\% - 0,166 DU\% + 0,162 Gp\% + 0,064 VS$$

y

$$V_1 = -0,929 h - 0,099 Fmax$$

dónde las variables fueron estandarizadas restándoles, primero sus medias, y luego dividiéndolas entre sus desviaciones estándar.

La representación de los valores de los dos grupos de variables -cayente, aro- a partir de las variables canónicas U_1 y V_1 se presenta en la figura 2-5, donde se visualiza la intensidad de la relación (0,95) entre las variables canónicas.

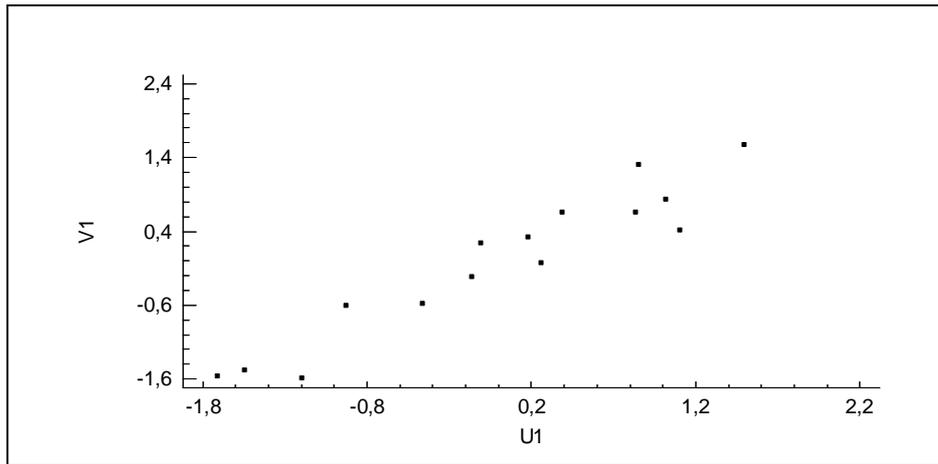


Figura 2-5. Puntuaciones de las variables originales

Las magnitudes de los coeficientes de las ecuaciones anteriores (ponderaciones canónicas) representan las contribuciones relativas de las variables naturales a las variables canónicas: en U_1 , el indicador DR% presenta un valor muy superior a los otros, y en V_1 el parámetro h presenta un valor muy superior a F_{max} . Por tanto U_1 se explica básicamente a partir de DR% y V_2 a partir de h.

Estas ecuaciones pueden ser empleadas con fines predictivos pero resulta más práctico y potente estadísticamente, encontrar la ecuación de la regresión de DR% versus h.

La ecuación del modelo ajustado es

$$DR\% = \sqrt[2]{(7.499,13 - 2.439,85 \cdot \ln(h))}$$

y se visualiza en la figura 3-5

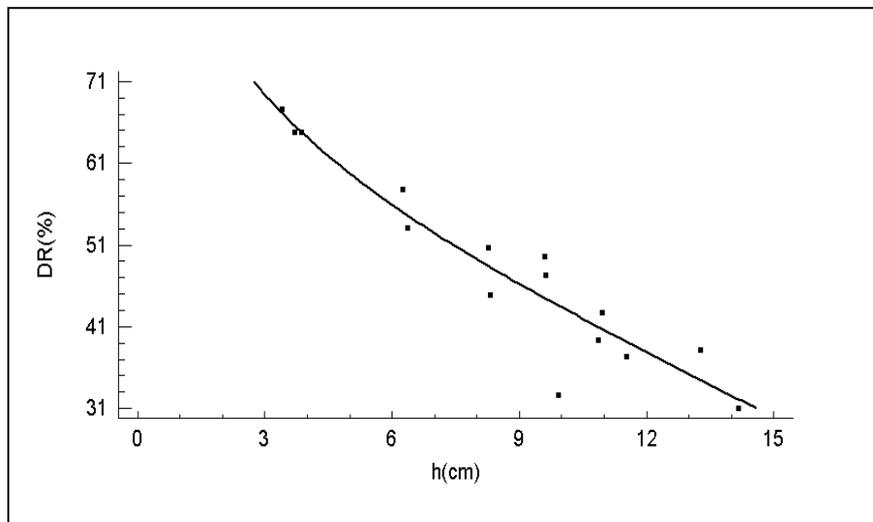


Figura 3-5. Ecuación de regresión DR% versus h

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA (tabla 5-5) es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre DR% y h con un nivel de confianza del 95,0%.

Correlación entre el método anillo-UPC y el cayente

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados libertad	Cuadrado Medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	1,78121E7	1	1,78121E7	160,470	0,000
Residuo	1,44298E6	13	110998,000		
Total (Corr.)	1,92551E7	14			

Tabla 5-5. Análisis de la varianza

R = -0,961

R² = 92,506 %

R² (ajustado) = 91,929 %

Estadístico Durbin-Watson = 1,728 (P=0,2820)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0,054

El estadístico R² indica que el modelo ajustado explica 92,506% de la variabilidad en DR%. El coeficiente de correlación R es igual a -0,961, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

El estadístico de Durbin-Watson examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos.

Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

5. Conclusiones

Se ha encontrado la ecuación de regresión que relaciona el DR% con el parámetro “h” del ensayo del anillo

El método de ensayo del anillo puede ser utilizado a nivel industrial como herramienta para el control rutinario del cayente en los procesos de acabado de tejidos de pañería sin la necesidad de un equipo adicional específico para la determinación del cayente.

6. Bibliografía

- (1). Cusick, G. E. *A Study of Fabric Drape*. University of Manchester, 1962.
- (2). Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Correlation Analysis between a Modified Ring Method and de FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9 (1), 2014. (en prensa).
- (3). Chu, C.C., Platt, M.M., Hamburguer, W. Investigation on the Factors Affecting the Drapeability of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1960, vol. 20, pp. 66-67.
- (4). May-Plumlee, T., Eischen, J. Kenkare, N.S., and P. Pandurangan. (2003). “Evaluating 3D Drape Simulations: Methods and Metrics”, in *Proceedings of International Textile Design and Engineering Conference (INTEDEC)*, Edinburgh, Scotland, September 22–24, 2003.
- (5). Robson, D., Long, C. C. Drape Analysis using Image Techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2000, vol. 18 (1), pp. 1-8.

(6). Al-Gaadi, B.; Göktepe, F.; Halász, M. A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*, 2012, 82 (5): 502-512.

(7). Jevsnik, S., Gersak, J. Modelling the Fused Panel for a Numeric Simulation of Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2004, vol. 12, pp. 47.

CAPÍTULO 6

ANALISIS DE LA CORRELACION ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO DEL ANILLO-UPC Y EL FAST

INDICE	página
1 Introducción	6-3
2 El método del anillo y sus diversas evoluciones	6-3
3 Objetivos	6-6
4 Materiales y métodos	6-6
5 Resultados y discusión	6-9
6 Conclusiones	6-24
7 Bibliografía	6-25

Capítulo 6

ANALISIS DE LA CORRELACION ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO DEL ANILLO-UPC Y EL FAST

RESUMEN

En este capítulo se realiza una revisión del ensayo del anillo y sus variantes, proponiendo una modificación sencilla e universal del método que permite su fácil aplicación por la industria textil. Se analizan 42 tejidos de calada comerciales de diversas composiciones, ligamentos y gramajes, mediante el equipo FAST y una modificación del ensayo del anillo propuesto por los autores. Se concluye que la formabilidad, la rigidez a la flexión, la fuerza máxima de extracción y el tiempo necesario para alcanzar este punto son los parámetros que más contribuyen a la correlación entre el sistema FAST y el ensayo del anillo. Se han obtenido las ecuaciones de regresión entre los principales parámetros FAST y los principales parámetros del ensayo del anillo, según correlaciones canónicas. Mediante la modificación del ensayo del anillo propuesto por los autores puede determinarse de una forma rápida

Capítulo 6

sencilla y económica, la formabilidad, propiedad que hasta ahora sólo podía obtenerse mediante el equipo FAST.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Correlation Analysis between a Modified Ring Method and de FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9 (1), 2014. (en prensa).

6.1 Introducción

Para determinar la mano de los tejidos existen fundamentalmente dos métodos de evaluación: los indirectos y los directos. La principal diferencia entre ambos reside en los parámetros utilizados y las interpretaciones asociadas a la explicación del fenómeno (1).

Los métodos indirectos utilizan equipos que miden propiedades como la rigidez a la flexión, rugosidad o compresibilidad de los tejidos y posteriormente determinan sus correlaciones cruzadas con una evaluación subjetiva paralela. Los equipos más utilizados y conocidos son el Kawabata Evaluating System for Fabrics (KES-F) (2) y el Fabric Assurance by Simple Testing (FAST) (3).

Los métodos directos, en cambio, utilizan técnicas creativas e ingeniosas que intentan simular el comportamiento tradicional de los humanos al tocar los tejidos y determinar cuantitativamente aspectos de esta evaluación que han sido denominados como fuerza o módulo de la mano (hand force or hand modulus). Estos métodos incluyen los ensayos del anillo y el de la rendija.

6.2 El método del anillo y sus diversas evoluciones

Los percusores de éste método y sus evoluciones, afirman que se trata de un ensayo sencillo y rápido que simula de forma eficaz la tradicional forma de pasar el tejido por el interior de la mano semicerrada. Así se ha percibido tradicionalmente tanto la suavidad del tejido al rozar con la piel como su rigidez a la deformación multiaxial. De hecho, en la edad media, las mujeres evaluaban la suavidad de los tejidos de seda, haciéndolos pasar por el interior de sus anillos (4)

El método consiste en hacer pasar una probeta circular de tejido por el interior de un anillo metálico de dimensiones conocidas y determinar el esfuerzo necesario para extraer el tejido. A finales de los años 70 del siglo XX, se registró una patente en Estados Unidos sobre un método de ensayo y un aparato para medir cuantitativamente la mano de los tejidos y otros materiales flexibles (5). El método media la fuerza de extracción necesaria para que una probeta de tejido atravesara un orificio de forma cónica de un grosor y diámetro determinados. Posteriormente, se desarrolló un método de ensayo basado en el principio del anillo cuyos resultados presentaban una buena relación con la evaluación subjetiva de la mano (6) (7), realizándose una primera interpretación detallada de las curvas fuerza-extracción que presentaban los tejidos al atravesar el anillo (8).

Desde entonces, varios investigadores han desarrollado adaptaciones de éste ensayo con diversas variaciones en relación a la forma y diámetro del anillo. Mediante un dinamómetro tipo INSTRON, se determinó la fuerza necesaria para extraer una probeta circular de tejido de 25 cm de diámetro por el interior de un anillo metálico de acabado pulido de 2 cm de diámetro por otros 2 cm de altura, obteniendo la fuerza máxima de extracción de diferentes tejidos que se denominó fuerza de la mano obteniendo correlaciones notables con los parámetros KES de estos tejidos (4). Otros autores utilizaron el mismo método descrito anteriormente para determinar la mano de tejidos tratados con distintos tipos de acabados concluyendo que el método era adecuado tanto para la determinación de la mano total como para los cambios derivados de la estructura de los tejidos, acabados o humedad de los mismos (9).

En el marco de un amplio estudio sobre el confort de los tejidos, se desarrolló el "El Mogahzy-Kilinc hand method" basado en el ensayo del anillo descrito anteriormente pero con unas pequeñas modificaciones que lo mejoran notablemente (10) (11). La principal diferencia de éste método con los

anteriores reside en el cabezal por donde pasa el tejido el cual está formado por un pequeño tubo de material flexible terminado en un semicono invertido del mismo material. El cabezal de análisis está montado en un analizador mecánico de pequeñas deformaciones equipado con control digital y un software específico (12) (13). El equipo obtiene la curva fuerza de extracción-tiempo denominada perfil de la mano. Al final del ensayo el equipo calcula la energía necesaria para extraer la totalidad del tejido, parámetro denominado mano objetiva total.

Este tipo de ensayos, sin embargo, presentan una alta variación en los resultados de la fuerza de extracción debido a la alta variabilidad en la configuración del plegado de las probetas. Con el fin de reducir esta variabilidad y controlar mejor la formación de pliegues durante la extracción de la probeta, a partir del año 2000 se desarrollaron nuevas técnicas de ensayo que conservando el mismo principio que el ensayo del anillo introducían un mayor control de la probeta. En éste método, el tejido se hace pasar por un orificio circular de radio variable, quedando la probeta retenida por dos discos paralelos a una distancia ajustable entre ellos (14) (15) (16). El ajuste y aplicación de este método de ensayo para la evaluación de la mano, ha producido una abundante literatura tanto para tejidos de calada y tejidos de punto como para membranas diversas (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26).

Basándose en las investigaciones de diversos equipos (27) (28) la empresa americana Nu Cybertek Inc, ha desarrollado el PhabrOmeter, equipo que realiza de forma automática el ensayo de extracción de una probeta circular de tejido basándose en el principio del anillo, obteniendo la curva extracción-tiempo y a partir de ella deduce nuevos indicadores como el "Relative Hand value", "Drape Index" y el "Wrinkle Recovery Rate" (29) habiéndose publicado ya algún estudio sobre su aplicación (30).

Existe otro método similar al ensayo del anillo pero consistente en determinar el esfuerzo necesario, no para extraer sino para introducir un tejido, papel o film de plástico a través de una rendija o anillo. Este tipo de ensayo se utiliza básicamente para determinar la blandura de papeles sanitarios. El equipo más conocido es el Handle-O-Meter (31) (32), para ensayos de papel y el Handmeter para textiles (33) si bien éste último apenas se ha utilizado.

6.3 Objetivos

El objetivo del presente capítulo es estudiar las relaciones entre las propiedades físico-mecánicas de una muestra de tejidos de calada comerciales medidos con el equipo FAST y las obtenidas mediante el método del anillo-UPC, descrito en el capítulo 2 de ésta tesis.

6.4 Materiales y métodos

Se ha procedido a realizar el ensayo FAST de acuerdo con requerimientos propios del método, así como del ensayo del anillo-UPC de un total de 42 tejidos de calada de un amplio espectro y tipología de composiciones, gramajes (entre 50 y 447 g/m²) (ver tabla 1-6) ligamentos y densidades, que representan el ámbito de los tejidos comerciales de pañería, camisería y forrería.

El ensayo FAST se ha realizado en el equipo del Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya. Para la realización de los ensayos se han seguido los requerimientos propios del equipo en cuanto al número de probetas y

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

acondicionamiento de las mismas. Se han realizado únicamente los ensayos del FAST-1 (compresión), FAST-2 (flexión) y FAST-3 (extensión), dado que el FAST-4 (estabilidad dimensional) no tenía interés para este estudio, ya que se aplica sólo en tejidos de lana y mezclas.

Composición	Número de tejidos
Lana 100 %	3
Lana y mezclas	8
Algodón 100 %	5
Algodón y mezclas	2
Lino y mezclas	4
Poliéster/Viscosa	4
Poliéster/Viscosa (forrería)	6
Poliéster 100% (forrería)	6
Viscosa 100 % (forrería)	2
Acetato y mezclas (forrería)	2

Tabla 1-6.- Composición de los tejidos de calada estudiados

En cuanto al ensayo del anillo-UPC se ha seguido el procedimiento descrito en el capítulo 2 de ésta tesis.

Capítulo 6

El dinamómetro registra la curva fuerza de extracción-desplazamiento de la probeta (o tiempo) que permite en primer lugar determinar la distancia entre el inicio del ensayo y el momento en el que empieza a rozar la probeta con el anillo (Figura 1-6). Este punto del registrador corresponde a la distancia (h) de la Figura 2-6 (imagen 3). Asimismo puede determinarse la fuerza máxima de extracción y el tiempo transcurrido hasta alcanzar este valor.

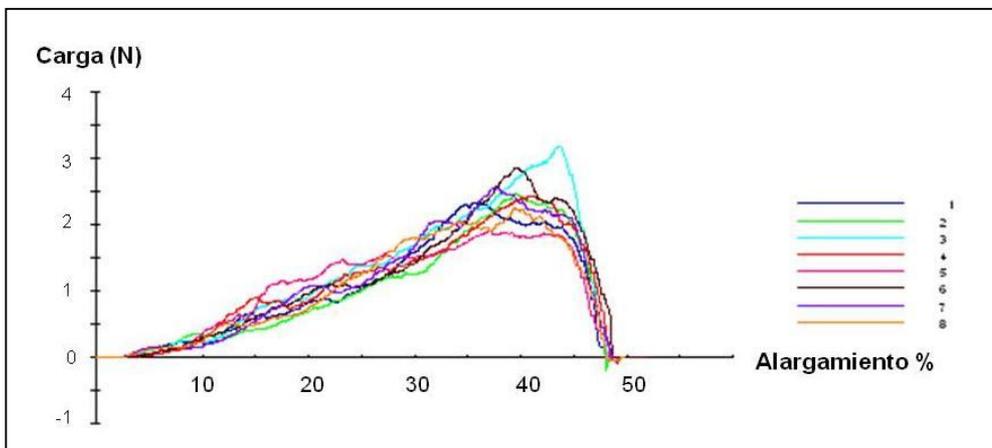


Figura 1-6. Curva: Fuerza de extracción-desplazamiento

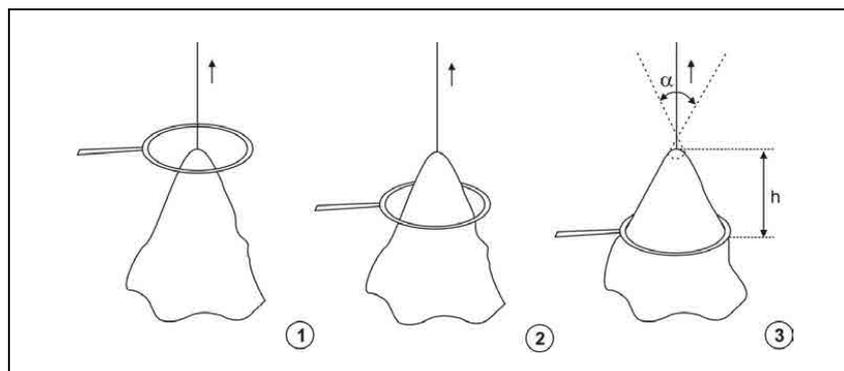


Figura 2-6. Diversas fases del ensayo del anillo-UPC

En este método, se han analizado, para cada tejido, un total de 4 probetas circulares de 30 cm de diámetro, tanto por el haz como por el envés, calculando los valores medios de los 8 ensayos y determinando:

- a) la fuerza máxima de extracción F_{\max} , (mN)
- b) desplazamiento necesario para alcanzarla DF_{\max} , (mm)
- c) la distancia (h) en mm, entre el inicio del ensayo y el punto donde la probeta toca el aro (Figura 2-6 imagen 3),
- d) el cociente entre la distancia h y el radio del anillo (h/r)
- e) ángulo de contacto α ($^{\circ}$) (Figura 2-6 imagen 3). Calculado trigonométricamente a partir h y r.

Los ensayos se han realizado en atmósfera estándar y con las probetas acondicionadas en el Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya.

6.5 Resultados y discusión

El conjunto de parámetros FAST y anillo-UPC, considerados se muestran en la tabla 2-6 y 3-6 respectivamente.

En este estudio, el conjunto de parámetros FAST los identificaremos como la variable x $\{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8\}$ y el conjunto de parámetros del “anillo-UPC” como la variable y $\{y_1 y_2 y_3 y_4 y_5\}$ sin perjuicio de especificar estas variables como variables independientes y variables dependientes.

PARAMETRO	Símbolo	Descripción
Formabilidad global (mm ²)	F	Capacidad de absorber la compresión longitudinal
Extensibilidad urdimbre al 100% (%)	EU100	Alargamiento en sentido urdimbre
Extensibilidad trama al 100% (%)	ET100	Alargamiento en sentido trama
Extensibilidad bias (%)	EB	Alargamiento sentido diagonal
Rigidez a la flexión global μN·m	RF	Rigidez a la flexión. Método voladizo
Diferencia RF urdimbre RF trama	RFU-RFT	Diferencia entre ambas magnitudes
Rigidez a la cizalladura (N/m)	G	Rigidez a la distorsión lateral
Compresibilidad relativa (%)	CR	$((\text{Grosor a 2 gf} - \text{Grosor a 100f}) / \text{Grosor a 2 gf}) \times 100$

Tabla 2-6. Parámetros FAST considerados

PARAMETRO	Símbolo	Descripción
Altura global de contacto (mm)	h	Ver Figura 2-6, imagen 3
Relación altura radio del anillo (mm)	h/r	Cociente entre ambas magnitudes
Angulo de contacto (°)	α	Ver Figura 2-6, imagen 3
Fuerza de extracción máxima (mN)	F _{max}	Fuerza máxima necesaria para extraer el tejido del anillo
Distancia a la fuerza máxima (mm)	DF _{max}	Distancia entre el inicio del ensayo y el punto de F _{max}

Tabla 3-6. Parámetros anillo-UPC considerados

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

Las dos primeras correlaciones canónicas obtenidas y su nivel de significación se presentan en la tabla 4-6.

Núm.	R^2	Correlación	Lambda	Chi-cuadrado	Grados libertad	Valor-p
1	0,9511	0,9752	0,0061	172,8990	40	0,0000
2	0,6888	0,8299	0,1266	70,2474	28	0,0000

Tabla 4-6. Correlación canónica entre FAST y Anillo-UPC

	Variable	u_1	u_2
F	x_1	-0,6290	0,0052
EU100	x_2	0,1287	0,4380
ET100	x_3	0,1531	0,7066
EB	x_4	0,0335	-0,0735
RF	x_5	-0,4567	-0,3034
RFU-RFT	x_6	-0,0471	0,0118
G	x_7	-0,0086	0,0760
CR	x_8	-0,1055	0,0749

Tabla 5-6. Coeficientes de las variable canónicas de los parámetros FAST

Capítulo 6

Los coeficientes a_{ij} , $i = 1, 2$ $j = 1 \dots 8$, de las dos variables “u” se exponen en la tabla 5-6 y los coeficientes b_{ij} , $i = 1, 2$ $j = 1 \dots 5$ de las dos variables “v” se exponen en la tabla 6-6.

	Variable	v₁	v₂
h	y ₁	-1,2417	-1,9505
h/r	y ₂	0,0067	0,7579
α	y ₃	-1,4057	-3,4440
F _{max}	y ₄	-0,9794	0,0546
DF _{max}	y ₅	0,0867	0,4442

Tabla 6-6. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros del ensayo anillo-UPC

La representación de las puntuaciones entre los dos conjuntos de variables “x” e “y” a partir de las primeras variables canónicas u_1 y v_1 se presenta en la figura 3-6, y para las variables u_2 y v_2 en la figura 4-6. Estas figuras visualizan la intensidad de la relación entre los dos primeros pares de variables canónicas.

Los coeficientes a_{ij} y b_{ij} son las ponderaciones canónicas estandarizadas para cada variable canónica; la magnitud de estas ponderaciones representan las contribuciones relativas a los valores teóricos (canónicos). Basado sólo en la magnitud de estos coeficientes el orden de contribución de las variables “x” a la primera variable u_1 es $x_1 > x_5 > x_3 > x_2 > x_8 > x_6 > x_5 > x_7$ y de la “y” respecto a v_1 en la secuencia $y_1 > y_3 > y_4 > y_5 > y_2$. Del mismo modo las

contribuciones de “x” respecto a u_2 y de “y” respecto a v_2 varían en las siguientes secuencias respectivas $x_3 > x_2 > x_5 > x_7 > x_8 > x_4 > x_6 > x_1$, e, $y_3 > y_1 > y_2 > y_5 > y_4$. No obstante, es mejor describir las variables canónicas a través de su correlación con las variables originales “x” e “y”, denominadas cargas canónicas, antes que en los coeficientes. La tabla 7-6 expone las cargas canónicas directas y cruzadas de las dos primeras variables canónicas.

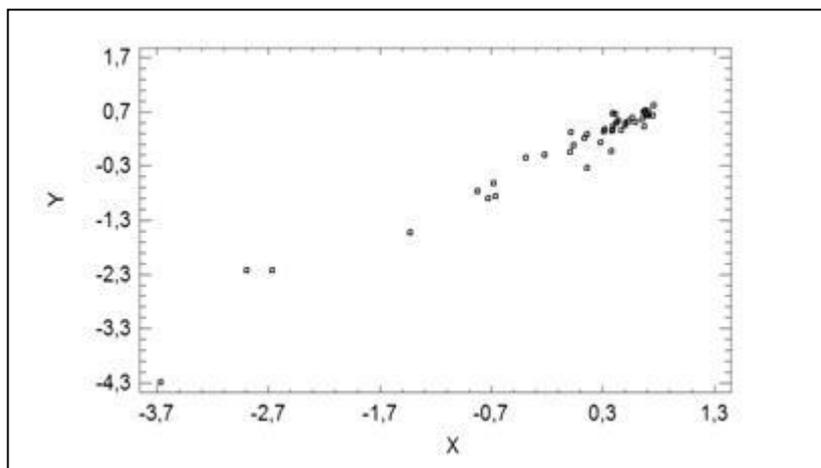


Figura 3-6. Puntuaciones entre variables “x” e “y” a partir de las variables canónicas $u_1 v_1$.

En la tabla 7-6 se observa que u_1 está altamente correlacionado con RF (-0,9470) y con F (-0,8722), u_2 con ET100 (0,8789) y EU100 (0,7349), análogamente v_1 altamente correlacionado con F_{max} (0,980537) y menos con DF_{max} (-0,6282), v_2 muy correlacionado con h (0,8531) y con el ángulo de contacto α (-0,8378). Estos resultados dan a entender que la variable canónica u_1 explica el “moldeado” de los materiales, u_2 la extensibilidad de los materiales, v_1 la “mano” del método del anillo y v_2 el “cayente” de método del anillo.

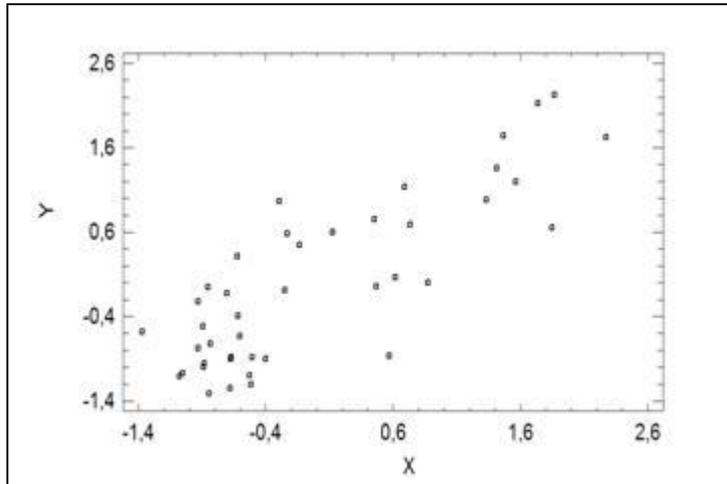


Figura 4-6. Puntuaciones entre variables “x” e “y” a partir de variables canónicas u_2 y v_2

Si repasamos las cargas canónicas cruzadas se observa que u_1 está muy correlacionado con F_{\max} (-0,9562) y también -aunque menos- con DF_{\max} (-0,6127), u_2 con h (0,7081) y a (-0,6953), análogamente v_1 muy correlacionado con RF (-0,9235) y F (-0,8507), y finalmente v_2 esta correlacionado con $ET100$ (0,7295) y con $EU100$ (0,6099).

Parámetro	Variable	u_1	u_2	v_1	v_2
F	X_1	-0,8722	0,3903	-0,8507	0,3240
EU100	X_2	-0,0993	0,7349	-0,0968	0,6099
ET100	X_3	-0,2546	0,8789	-0,2483	0,7295
EB	X_4	0,1861	0,1801	0,1815	0,1495

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

Parámetro	Variable	u_1	u_2	v_1	v_2
RF	X_5	-0,9470	-0,1058	-0,9235	-0,0878
RFU-RFT	X_6	-0,4200	-0,2902	-0,4096	-0,2409
G	X_7	-0,1307	0,0385	-0,1275	0,0320
CR	X_8	-0,4106	0,4874	-0,4004	0,4045
h	Y_1	0,4407	0,7081	0,4519	0,8531
h/r	Y_2	-0,5147	-0,5476	-0,5277	-0,6598
α	Y_3	-0,4571	-0,6953	-0,4687	-0,8378
F_{max}	Y_4	-0,9562	0,1410	-0,9805	0,1699
D_{Fmax}	Y_5	-0,6127	0,5036	-0,6282	0,6067

Tabla 7-6. Cargas canónicas directas de las dos primeras variables canónicas

A partir de las cargas canónicas se calcula la redundancias: la varianza total de las 8 variables “x” explicadas por las 5 variables “y” es 41,4%, y la varianza de las 5 “y” explicadas por las 8 “x” es 70,3%.

Por otra parte, el ángulo de contacto α y la altura h presentan una elevada multicolinealidad (coeficiente Pearson de -0.998), por este motivo, se ha decidido no tomar en consideración el ángulo de contacto, pero considerando en cambio, la siguiente variable con más carga canónica: h / r (puesto que no hay una relación lineal entre h y h / r). Además, las cargas canónicas son estables cuando algunas de estas variables - h / r ó α - se elimina.

Capítulo 6

Los coeficientes de las funciones canónicas sin tener en cuenta el ángulo se muestran en la tabla 8-6.

	u_1	u_2
F	-0,61608	-0,0329
EU100	0,1379	-0,4816
ET100	0,1348	-0,6753
EB	0,0116	0,1429
RF	-0,4669	0,3422
RFU/RFT	-0,0439	-0,0202
G	-0,0247	-0,0284
CR	-0,1081	-0,0670

Tabla 8-6. Coeficientes de las funciones canónicas de los parámetros FAST sin tener en cuenta el ángulo de contacto

La existencia de multicolinealidad afecta a la interpretación de los coeficientes: en la anterior tabla el coeficiente de h es muy bajo (0,0079) debido a que el análisis lo aparta en favor de h/d , pero si prescindimos de α y h/d el coeficiente de h se convierte en más relevante (ver tabla 9-6).

En la tabla 10-6 se muestran los coeficientes de las variable canónicas de los parámetros del ensayo anillo-UPC sin tener en cuenta h/d y α .

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

	v_1	v_2
h	0,0079	-1,1495
h/d	-0,1663	-0,3514
Fmax	-0,9633	-0,0886
DFmax	0,0585	-0,3808

Tabla 9-6. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros anillo-UPC sin tener en cuenta el ángulo de contacto

	v_1
h	0,1618
Fmax	-0,9858
DFmax	0,0689

Tabla 10-6. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros del ensayo anillo-UPC sin tener en cuenta h/d y α

	v_1
h	-1,2080
α	-1,3659
Fmax	-0,9780
DFmax	0,08580

Tabla 11-6. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros del ensayo anillo-UPC sin tener en cuenta h/d

Capítulo 6

Y en todos los casos los otros coeficientes apenas se ven afectados (obsérvese en los tres valores de F_{\max} y DF_{\max} que prácticamente son iguales).

A partir de estas cargas parece que u_1 puede ser descrita en términos de F , RF y v_1 puede ser descrita en términos de F_{\max} y DF_{\max} . Un posterior análisis entre el grupo x (F , RF) y el grupo y (F_{\max} , DF_{\max}) conduce al siguiente par de variables con un coeficiente de correlación canónico de 0,954315 y unas redundancias de 78,5% y 70,4%.

$$u_1 = 0,5830 \cdot F + 0,4926 \cdot RF$$

$$v_1 = 0,9812 \cdot F_{\max} + 0,0256 \cdot DF_{\max}$$

La representación de las puntuaciones entre las variables canónicas se muestra en la figura 5-6.

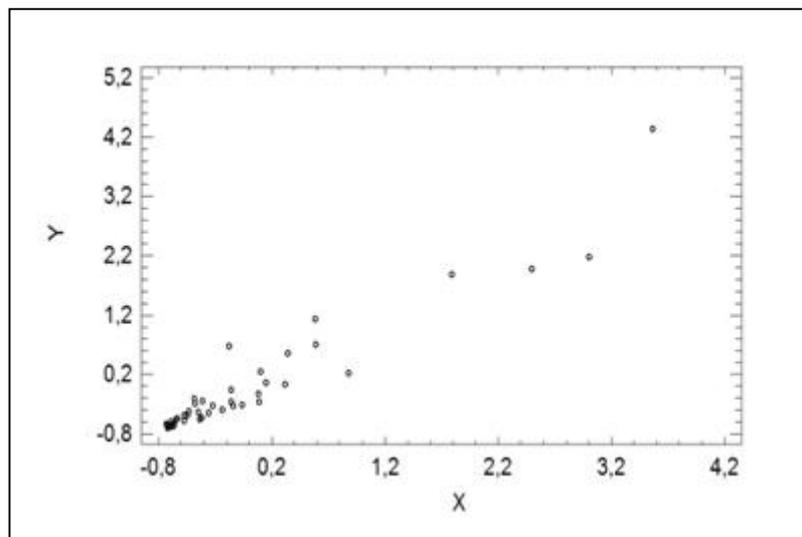


Figura 5-6. Representación de las puntuaciones entre las variables canónicas u_1 y v_1

A partir de estas cargas parece que u_2 puede ser descrita en términos de EU100 y ET100 y v_2 puede ser descrita en términos de h y h/r. Un posterior análisis entre el grupo X (EU100, ET100) y el grupo Y (h, h/r) conduce al siguiente par de variables con un coeficiente de correlación canónico de 0,6401 y unas redundancias de 29,7% y 21,9%.

$$u_2 = 0,5703*EU100 + 0,6048*ET100$$

$$v_2 = 1,8880*h + 1,1343*h/r$$

La representación de las puntuaciones entre las variables canónicas se muestra en la figura 6-6.

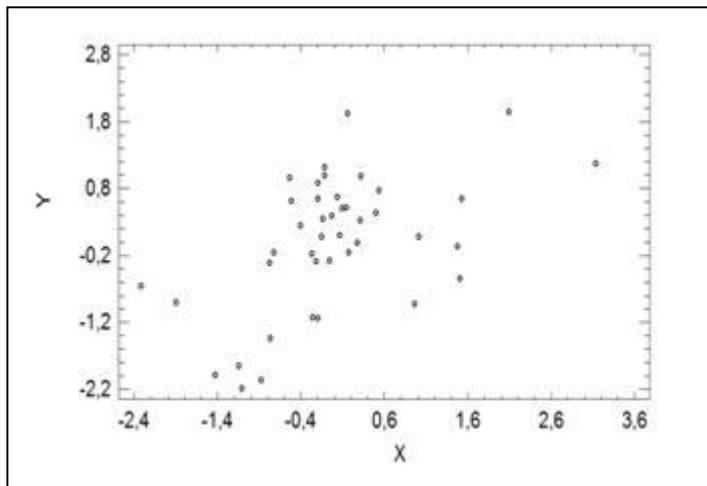


Figura 6-6. Representación de las puntuaciones entre las variables canónicas u_2 y v_2

Las dos ecuaciones anteriores describen la naturaleza de las relaciones entre el conjunto de parámetros FAST y el conjunto de parámetros del anillo-UPC. Estas ecuaciones pueden ser empleadas con fines predictivos pero resulta más práctico realizar regresiones con las variables originales.

Capítulo 6

Respecto a la predicción se jerarquiza las variables FAST como variables dependientes Y, y las variables anillo-UPC como variables independientes X; esto es debido a que interesa controlar las variables del anillo-UPC por ser un procedimiento más “universal”, -en la medida que solo se precisa de un dinamómetro, que es un instrumento habitual en los ensayos mecánicos de los textiles- y con éstas predecir las variables FAST.

La regresión entre la variable FAST F y las variables anillo-UPC F_{\max} y DF_{\max} precisa de la transformación de F para corregir el incumplimiento de las hipótesis del modelo lineal. Se ha utilizado la transformación de potencia (método de Box-Cox). El valor λ que minimiza la suma de cuadrados residuales del modelo ajustado con Y^λ es 0,313.

Previamente se traslada el origen de F en 0,03122 (valor mínimo de F superior a 0). Con estos cambios (la variable de respuesta la designamos por F*) la ecuación de regresión obtenida por mínimos cuadrados es la siguiente:

$$F^* = -0,5171 + 0,0001 \cdot F_{\max} + 0,0345 \cdot DF_{\max}$$

La tabla 12-6 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 13-6 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido es de 90,757%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	-0,5171	0,3363	-1,5374	0,1323
F_{\max}	0,0001	0,0000	4,2725	0,0001
DF_{\max}	0,0345	0,0107	3,2095	0,0027

Tabla 12-6. Análisis de los coeficientes de la primera ecuación

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	3,8135	2	1,9067	51,4600	0,0000
Residual	1,4449	39	0,0370		
Total	5,2585	41			

Tabla 13-6. Análisis de la regresión (F^* versus F_{\max} y DF_{\max})

En la regresión de la variable FAST (RF) respecto las variables anillo-UPC (F_{\max} y DF_{\max}) se ha realizado la transformación Box Cox con $\lambda=0,021$, y la ecuación de regresión obtenida es:

$$RF^* = 1,0727 + 0,000009 \cdot F_{\max} - 0,0009 \cdot DF_{\max}$$

La tabla 14-6 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 15-6 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido es de 66,7893%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	1,0727	0,0170	62,9674	0,0000
F_{\max}	0,0000	0,0000	7,47603	0,0000
DF_{\max}	-0,0009	0,0005	-1,7679	0,0849

Tabla 14-6. Análisis de los coeficientes de la ecuación anterior

Capítulo 6

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,0080	2	0,0040	42,2300	0,0000
Residual	0,0037	39	0,0000		
Total	0,0117	41			

Tabla 15-6. Análisis de la varianza RF* versus F_{\max} y DF_{\max}

En la regresión de la variable FAST (EU100) respecto las variables anillo-UPC (h y h/r) se ha realizado la transformación Box Cox con $\lambda=0,068$, y la ecuación de regresión obtenida es:

$$EU100^* = 0,6546 + 0,0325 \cdot h + 0,04780 \cdot h/r$$

La tabla 16-6 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 17-6 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido de 28,940%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	0,6546	0,1123	5,8285	0,0000
h	0,0325	0,0084	3,8692	0,0004
h/r	0,0478	0,0181	2,6342	0,0120

Tabla 16-6. Análisis de los coeficientes de la ecuación anterior

Correlación entre los métodos FAST y anillo modificado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,0860	2	0,0430	9,3500	0,0005
Residuo	0,1794	39	0,0046		
Total	0,2654	41			

Tabla 17-6. Análisis de la varianza EU100* versus h y h/r

En la regresión de la variable FAST (ET100) respecto las variables anillo-UPC (h y h/r) se ha realizado la transformación Box Cox con $\lambda=-0,033$, y la ecuación de regresión obtenida es:

$$ET100^* = 1,0249 - 0,0059 \cdot h$$

La tabla 18-6 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 19-6 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de correlación es -0,5030 y el coeficiente de determinación corregido de 23,4335%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	1,0249	0,0128	79,5011	0,0000
h	-0,0059	0,0016	-3,6807	0,0007

Tabla 18-6. Análisis de los coeficientes de la ecuación anterior

Fuente	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,0119	1	0,0119	13,5500	0,0007
Residual	0,0353	40	0,0008		
Total	0,0472	41			

Tabla 19-6. Análisis de la varianza ET100* versus h

6.6 Conclusiones

Este estudio exploratorio ha permitido relacionar el sistema FAST con el ensayo del anillo-UPC a través de la correlación entre sus parámetros. Del estudio se desprende:

- La formabilidad (F), la rigidez a la flexión (RF), la fuerza máxima de extracción (F_{max}) y el tiempo necesario para alcanzar este punto (DF_{max}) son los parámetros que más contribuyen a la correlación entre el sistema FAST y el ensayo del anillo-UPC. La relación canónica de éstas variables es del 0,95.
- Las extensibilidades al 100% (EU y ET), la distancia desde el inicio del ensayo hasta que la probeta toca el aro (h) y el cociente entre este valor y el radio del anillo (h/r) presentan una correlación canónica del 0,64.
- Las correlaciones anteriores explican que el moldeado tridimensional de los tejidos está correlacionado con la mano, y las extensibilidades con el cayente.
- Se han establecido unas ecuaciones de regresión entre los principales parámetros FAST (según correlaciones canónicas) y los

principales parámetros del ensayo del anillo-UPC (según correlaciones canónicas). La F_{max} y la DF_{max} explican el 95,75% de la variabilidad de la Formabilidad (F); la F_{max} y la DF_{max} explican el 66,79% de la rigidez a la flexión (RF); la h y h/r explican el 28,94 % de la extensibilidad por urdimbre al 100 % (EU) y la h y la h/r explican el 23,43% de la extensibilidad por trama al 100 % (ET).

- Los resultados obtenidos en este estudio permiten predecir una parte de los parámetros FAST mediante un método de ensayo del anillo más universal, sencillo y económico.

Mediante el método de ensayo anillo-UPC descrito en el presente artículo puede determinarse, una propiedad de la confeccionabilidad tan importante como es la Formabilidad (F) que hasta ahora sólo podía obtenerse mediante el equipo FAST.

6.7 Bibliografía

- (1) Mogahzy, .E., Kilinc,F.S., Hassan, H. Developments in measurement and evaluation of fabric hand. Pp 45-65. In: "Behery H.M. *Effect of mechanical and physical properties on fabric hand*". Woodhead publishing in textiles. Cambridge 2005.
- (2) Kawabata, S. *The standardization and analysis of handle evaluation*. The Textile Machinery Society of Japan. 1980. Osaka. Japan.
- (3) De Boss A., Tester, D.H. A system for fabric objective measurement and its application in fabric and garment manufacture. *CSIRO Report No. WT92.02*. 1994.
- (4) Grover, G., Sultan, M.A., Spivak, S.M. A screen technique for fabric handle. *Journal of Textile Institute*, 84 (3). 1993, pp.1-9.
- (5) Alley,V.L., McHatton, A.D. Nozzle Extraction Process and Handlemeter for Measuring Handle. *United States Patent 4,103,550*. August 1, 1978.

- (6) Soliman, H.A., Sultan, M.A., Sheta, A.M. *The Bulletin of Faculty of Engineering*. 23: 115. 1984. Alexandria University.
- (7) Sultan, M. Sheta, A. Predicting fabric hand acceptance for a specific end-use. *Textile Information Bulletin*, 36 (4). 1994.
- (8) Pan, N., Yen, K.C., Zhao, S.J., Yang, S.R. A new approach to the objective evaluation of fabric hand from mechanical properties. Part II: Objective measure for total handle. *Textile Research Journal*, 58. 1988, pp. 438-444.
- (9) Kim, J., Slaten, B.L. Objective Assessment of Fabric Handle in Fabric Treated with Flame Retardants. *Journal of Testing and Evaluation*, 24, 1999, pp. 223-228.
- (10) Killinc, F.S. *A Study of the Nature of Fabric Comfort: Design-oriented Fabric Comfort Model*. Ph.D.Thesis. Auburn University. USA. 2004.
- (11) Hassan, M. *Computer-based System for Evaluation and Recognition of the Structural and Surface Characteristics of Fabrics*. Ph.D.Thesis. Al Mansoura University. Egypt. 2004.
- (12) El Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part I: Fundamental aspects of fibre friction and lubrication. *Int. Nonwoven J.* 6 (4), 1995, pp. 35-42.
- (13) Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part II: Experimental observations. *Int. Nonwoven J.* 7(1), 1995, pp. 26-33.
- (14) Hennrich, L., Seidel, A., Reider, O. Griffprüfung au Maschenwaren. *Maschen Industrie*, 7, 1999, p.46-47.
- (15) Seidel, A. Griffgewertung von Strumpfwaren mit dem ITV-Griff-Tester. *Melliand Textilberichte*, 6, 2001, p.491-494.
- (16) Martisiutè, G., Gutauskas, M. A new approach to evaluation of fabric handle. *Materials Science*. Vol. 7 No 3, 2001, pp.186-190.
- (17) Strazdiene, E., Gutauskas, M. New Method for the Objective Evaluation of Textile Hand. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol. 13 No. 2, 2005, pp. 35-38.

- (18) Strazdiene, E., Ben Saïd, S., Gutauskas, M., Schacher, L., Adolphe, D.C. The evaluation of fabric treatment by Griff tester and sensory analysis. *International Journal of Clothing Science and Technology*. Vol. 18, No. 5, 2006, pp. 326-334.
- (19) Daukantiene, V., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Simulation and Application of the Behaviour of the Textile Fabric while Pulling through a Round Hole. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol 11, no 2 (41), 2003, pp.37-41.
- (20) Strazdiene, E., Martisiutė, G., Gutauskas, M., Papreckiene, L. Textile Hand: A New Method for Textile Objective Evaluation. *Journal of The Textile Institute*, 94, Part 1, No. 3-4, 2003, pp.245-255.
- (21) Grineviciute, D., Gutauskas, M. The Comparison of Methods for the Evaluation of Woven Fabric Hand. *Materials Science*, Vol.10, No.1, 2004, pp.97-100.
- (22) Juodsnukyte, D., Gutauskas, M, Krauledas, S. Influence of Fabric Softeners on Performance Stability of Textile Materials. *Materials Science*. Vol. 11, No. 2, 2005, pp.179-182.
- (23) Grineviciute, D., Daukantiene, V., Gutauskas, M. Textile Hand: Comparison of Two Evaluation Methods. *Materials Science*, Vol. 11, No. 1, 2005, pp. 57-63.
- (24) Truncyte, D., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Behaviour of Textile Membranes while Being Pulling Through a Hole by the Constrained Method. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 15, No, 1, 2007, pp.50-54.
- (25) Hasani, H., Planck, H. Analysis of the Physical Fundamentals of an Objective Integral Measuring System for the Determination of the Handle of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 6, 2009, pp.70-75.
- (26) Hasani, H. Novel Method to Evaluate the Low-Stress Shearing Behaviour of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 2, 2010, pp.70-72.
- (27) Pan, N., Zeronian, S.H., Ryu, H.S. An alternative approach to the objective measurement of fabrics. *Textile Research Journal*, 63, 1993, pp.33-43.

- (28) Pan, N. Quantification and evaluation of human tactile sense towards fabrics. *International Journal of Design & Nature*, Vol. 1, No.1, 2007, pp. 48-60
- (29) Nu Cybertek Inc. <http://www.nucybertek.com> consultada el 20 de agosto de 2012.
- (30) Wang, H., Mahar, T.J., Hall, R. (2012). Prediction of the handle characteristics of lightweight next-to-skin knitted fabrics using a fabric extraction technique. *The Journal of The Textile Institute*, Vol.13, No.7, 2012), pp.691-697.
- (31) Thwing-Albert Instrument Company. Clupak Fabricometer. Philadelphia, P.A. Trade literature. 1970.
- (32) Thwing-Albert Instrument Company. Información técnica del Handle-O-Meter. <http://www.thwingalbert.com/handle-o-meter.html>. Consultada el 22 de agosto de 2012.
- (33) Dent, R.W., Oatfield, J.C., Mayes, R.T. Fabric Characterising Apparatus. *U.S. Patent 3,613,445*. 1971.
- (34) Dillon, W.R.; Goldstein, M. *Multivariate Analysis: Methods and Applications*. 1984, Wiley. New York.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO DEL ANILLO-UPC Y EL KES-F

INDICE	página
1 Introducción	7-2
2 Objetivos	7-3
3 Materiales y métodos	7-4
4 Resultados y discusión	7-7
5 Conclusiones	7-22
6 Bibliografía	7-23

Capítulo 7

ANALISIS DE LA CORRELACION ENTRE LOS METODOS DE ENSAYO, ANILLO-UPC Y EL KES-F

RESUMEN

En este estudio se analizan 37 tejidos de calada comerciales de diversas composiciones, ligamentos y gramajes, mediante el sistema Kawabata (KES-F) y una modificación del ensayo del anillo denominada anillo-UPC descrita en el anterior capítulo. Se concluye que los parámetros KES-F: LT, WT, EMT B, 2HB son los que más contribuyen a la correlación entre el sistema KES-F y el ensayo anillo-UPC. Se han obtenido las ecuaciones de regresión entre los principales parámetros KES-F y los principales parámetros del ensayo anillo-UPC, según correlaciones canónicas. Mediante el ensayo anillo-UPC puede determinarse de una forma rápida sencilla y económica los parámetros KES-F.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valldeperas, J. Correlation Analysis between the UPC Ring method and the Kawabata System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. (2014) (in press).

7.1 Introducción

Los humanos percibimos la realidad a través de nuestros sentidos y la interpretamos mediante patrones socioculturales que varían con el espacio y el tiempo. Ello explicaría como una misma realidad puede ser apreciada de forma muy distinta en las diferentes latitudes del planeta y aceptada o rechazada en función del momento histórico en que se plantea.

Un ejemplo paradigmático de este fenómeno es la denominada “mano” de los tejidos, es decir la valoración subjetiva que se realiza después de tocarlos y apreciar propiedades como la rigidez, suavidad, esponjosidad, calidez, etc. (1) Además del tacto, en la apreciación subjetiva de la calidad de un tejido se utiliza también el sentido de la vista que permite considerar su aspecto externo como el color, brillo o el cayente. Finalmente la decisión de compra será la suma ponderada de percepciones sensoriales descritas anteriormente, temporales (moda-cultura) y económicas (precio).

La variación geográfica en la apreciación de la mano de los tejidos constituye una auténtica dificultad en una sociedad global donde habitualmente el diseño, la producción y el consumo de las prendas de vestir se encuentran muy distanciados territorialmente. En este contexto cualquier intento de objetivar evaluaciones subjetivas de las propiedades de los textiles es especialmente bienvenido. En las últimas décadas una notable cantidad de investigadores han centrado sus esfuerzos en desarrollar equipos y técnicas de medida de la mano basadas en dos métodos de evaluación: los indirectos y los directos. La principal diferencia entre ambos reside en los parámetros utilizados y las interpretaciones asociadas a la explicación del fenómeno (2).

Los métodos indirectos utilizan equipos que miden propiedades como la rigidez a la flexión, rugosidad o compresibilidad de los tejidos y posteriormente

determinan sus correlaciones cruzadas con una evaluación subjetiva paralela. Los equipos más utilizados y conocidos son el Kawabata Evaluating System for Fabrics (KES-F) (3) y el Fabric Assurance by Simple Testing (FAST) (4).

Los métodos directos, en cambio, utilizan técnicas creativas e ingeniosas que intentan simular el comportamiento tradicional de los humanos al tocar los tejidos y determinar cuantitativamente aspectos de esta evaluación que han sido denominados como fuerza o módulo de la mano. Estos métodos incluyen los ensayos del anillo y el de la rendija (5). A pesar de que en las últimas décadas del siglo XX el método Kawabata ha sido el más utilizado para determinar la mano, en los últimos años se ha recuperado el reconocimiento de la importancia del método de ensayo del anillo y sus distintas variantes dado que en el fondo evalúa el comportamiento de un tejido de forma muy similar a la que realizamos los humanos cuando se hace pasar el tejido por el interior de la mano semicerrada.

Una de las variantes del ensayo del anillo, denominada anillo-UPC ha sido propuesto por el autor de ésta tesis, con el fin que pudiera aplicarse fácilmente por la industria textil mediante un dinamómetro convencional (5). En este capítulo se comparan los resultados del ensayo KES-F con los del ensayo de anillo-UPC de una muestra de 37 tejidos de calada comerciales de un amplio espectro de composiciones y gramajes, estableciéndose las ecuaciones de regresión entre los principales parámetros de ambos métodos de medición según correlaciones canónicas.

7.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es determinar la relación entre los parámetros del Sistema KES-F y los parámetros del ensayo anillo-UPC a través de un análisis

de la correlación canónica, y explicar la naturaleza de la relación existente entre estos dos conjuntos de parámetros con el fin de encontrar unos modelos de regresión que permitan predecir los parámetros del sistema KES-F a partir de los parámetros del ensayo anillo-UPC.

7.3 Materiales y métodos

Se ha procedido a realizar el ensayo KES-F de acuerdo con requerimientos propios del método (2), así como del ensayo del anillo-UPC de un total de 37 tejidos de calada de un amplio espectro y tipología de composiciones, gramajes (entre los 50 y 447 g/m²) (ver Tabla 1-7) ligamentos y densidades, que representan el ámbito de los tejidos comerciales de pañería, camisería y forrería.

Desde el punto de vista conceptual no existe relación alguna entre los parámetros KES-F de compresión LC (linealidad de la curva de compresión), WC (energía de compresión), RC (resiliencia de compresión), T_o (grosor a una presión de 0,5 gf/cm²) y T_m (grosor a una presión de 50 gf/cm²) y los parámetros medidos en el método anillo-UPC; también puede decirse lo mismo respecto el parámetro de superficie SMD (rugosidad geométrica). Por tal motivo todos estos parámetros no se han incluido en el presente estudio.

Por otra parte, como ya es conocido, el equipo KES-F no determina la Formabilidad, sin embargo la Australian Wool Textile Objective Measurement Executive Committee (AWTOMECE) encontró la forma de predecirla a partir mediciones del KES-F (6) mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Formabilidad} = \frac{BR \cdot EI}{49,035}$$

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

Donde BR es la rigidez a la flexión B ($\text{gf}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$) y EI es la extensibilidad a 50 gf/cm del ensayo KES-F. Dado que la formabilidad se ha estudiado en el análisis correlacional del Sistema FAST con el ensayo anillo-UPC (ver capítulo 6) también se ha incluido en el presente capítulo.

Composición	Número de tejidos
Lana 100 %	3
Lana y mezclas	6
Algodón 100 %	5
Algodón y mezclas	3
Lino y mezclas	5
Poliéster/Viscosa	4
Poliéster/Viscosa (forrería)	6
Poliéster 100% (forrería)	1
Viscosa 100 % (forrería)	2
Acetato y mezclas (forrería)	2

Tabla 1-7.- Composición de los tejidos de calada estudiados

Apenas existen estudios que relacionen los resultados del ensayo del anillo con mediciones realizadas mediante el método KES-F. El único precedente se limita a determinar la Fuerza máxima de extracción F_{max} de 6 muestras de tejidos de calada algodoneros y relacionarlo con los distintos parámetros del ensayo KES-F (4). En la presente tesis, en cambio, se valoran 37 tejidos de

Capítulo 7

calada de composiciones, ligamentos y gramajes mucho más amplio y representativo de los tejidos comerciales. Ambos estudios coinciden en que la Rigidez a la flexión (B), la histéresis de la flexión (2HB) y el gramaje de los tejidos (W), están altamente correlacionados con la F_{max} .

Parámetro	Grover et al (1993)	Presente estudio
Tejidos analizados	6	37
B	0.85	0.72
2HB	0.91	0.78
W	0.98	0.76

Tabla 2-7. Coeficientes de correlación lineal entre F_{max} (ensayo del anillo) con cada parámetro Kawabata

En el ensayo anillo-UPC, se utiliza un cabezal de acero inoxidable pulido de sección circular de diámetro 36 mm y grosor de 4 mm que está sujeto sólidamente a una estructura externa que lo mantiene fijo y solidario a un dinamómetro convencional. El dinamómetro registra la curva fuerza de extracción-desplazamiento de una probeta circular de 300 mm diámetro (figura 1-7). En el anterior capítulo donde se estudia la correlación entre el ensayo anillo-UPC con el método FAST se describe detalladamente el método de ensayo (5). Los ensayos anillo-UPC se han realizado en el Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

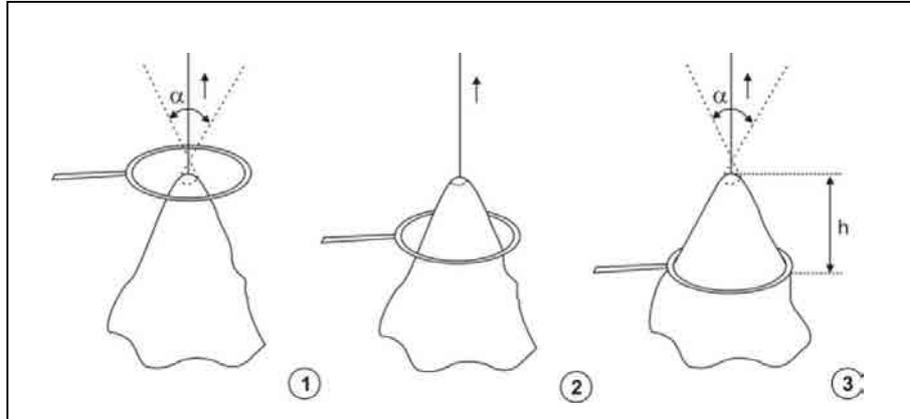


Figura 1-7. Fases del ensayo anillo-UPC

Los ensayos de fricción, tracción y cizalladura del KES-F se han realizado en el Laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil de la Universidade do Minho (Guimarães, Portugal) mientras que los de compresión y flexión en el Laboratorio de parametría física textil del Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya, España). Para la realización de los ensayos se han seguido los requerimientos propios del equipo en cuanto al número y dimensiones de las probetas y su acondicionamiento (2).

7.4 Resultados y discusión

El análisis de correlación canónica es un método que trata de relacionar un conjunto de variables x ($x_1 x_2 \dots x_p$) con otro conjunto y ($y_1 y_2 \dots y_q$). El objetivo es encontrar pares de variables $u_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ip}x_p$ y $v_i = b_{i1}y_1 + b_{i2}y_2 + \dots + b_{iq}y_q$ con la propiedad que la correlación lineal $u_i v_i$ sea máxima.

Capítulo 7

El conjunto de parámetros KES-F y anillo-UPC, considerados se muestran en la tabla 3-7 y 4-7 respectivamente.

Propiedad	Parámetro	Símbolo	Unidad
Tensión	Linealidad	LT	-
Tensión	Energía de tracción	WT	gf·cm ² /cm
Tensión	Resiliencia	RT	%
Flexión	Rigidez a la flexión	B	gf·cm ² /cm
Flexión	Histéresis	2HB	gf·cm ² /cm
Cizalladura	Cizalladura	G	gf/cm · grado
Cizalladura	Histéresis en $\phi = 0,5^\circ$	2HG	gf/cm
Superficie	Coeficiente de fricción	MIU	-
Superficie	Desviación media de MIU	MMD	-
Grosor	Grosor a 0,5 gf/cm ²	T	mm
*	Formabilidad	F	-

Tabla 3-7. Parámetros KAWABATA considerados

El conjunto de parámetros KES-F los identificaremos como la variable x $\{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 x_8 x_9 x_{10} x_{11}\}$ y el conjunto de parámetros del ensayo anillo-UPC como la variable y $\{y_1 y_2 y_3 y_4 y_5\}$ sin perjuicio de especificar estas variables como variables independientes y variables dependientes respectivamente.

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

Parámetro	Símbolo	Descripción
Altura global de contacto (mm)	h	Ver imagen 3, Figura 1-7
Relación altura radio del anillo (mm)	h/r	Cociente entre ambas magnitudes
Angulo de contacto (°)	α	Ver imagen 3, Figura 1-7
Fuerza de extracción máxima (N)	F_{max}	Fuerza máxima necesaria para extraer el tejido del anillo
Distancia a la fuerza máxima (mm)	DF_{max}	Distancia entre el inicio del ensayo y el punto de F_{max}

Tabla 4-7. Parámetros del ensayo anillo-UPC considerados

Las dos primeras correlaciones canónicas obtenidas y su nivel de significación se presentan en la tabla 5-7.

Núm.	R^2	Correlación	Lambda	Chi-Cuadrado	Grados libertad	Valor-p
1	0,9438	0,9715	0,0009	190,2070	55	0,0000
2	0,8863	0,9414	0,0176	111,0250	40	0,0000

Tabla 5-7. Nivel de significación de las variables canónicas

Los coeficientes a_{ij} , $i = 1,2$ $j = 1 \dots 11$, de las dos variables U se exponen en la tabla 6-7 y los coeficientes b_{ij} , $i = 1,2$ $j = 1 \dots 5$ de las dos variables V se exponen en la tabla 7-7.

Parámetro	Variable	u_1	u_2
LT	x_1	0,1375	0,2245
WT	x_2	0,3684	-1,9866
RT	x_3	0,0039	0,0490
EMT	x_4	-0,6280	3,5220
G	x_5	0,0685	-0,5966
2HG	x_6	-0,0973	0,6319
B	x_7	1,3930	-0,8316
2HB	x_8	-1,6197	0,6434
MIU	x_9	0,0203	-0,0155
MMD	x_{10}	-0,1320	0,0542
F	x_{11}	-0,5072	-1,1453

Tabla 6-7. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros KAWABATA

	Variable	v_1	v_2
h	y_1	-0,3477	0,4555
h/r	y_2	-0,0318	-0,4240
α	y_3	-0,4112	0,6259
F_{\max}	y_4	-1,0774	-0,1025
DF_{\max}	y_5	-0,2245	0,5612

Tabla 7-7. Coeficientes de las variables canónicas de los parámetros del ensayo anillo-UPC

La representación de las puntuaciones entre los dos conjuntos de variables x e y a partir de las primeras variables canónicas u_1 y v_1 se presenta en la figura 2-7, y para las variables u_2 y v_2 en la figura 3-7. Estas figuras visualizan la intensidad de la relación entre los dos primeros pares de variables canónicas.

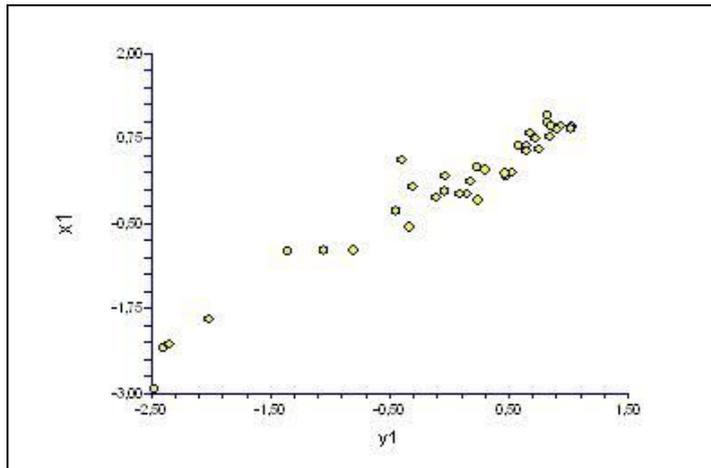


Figura 2-7. Puntuaciones de las variables originales a partir de u_1 y v_1

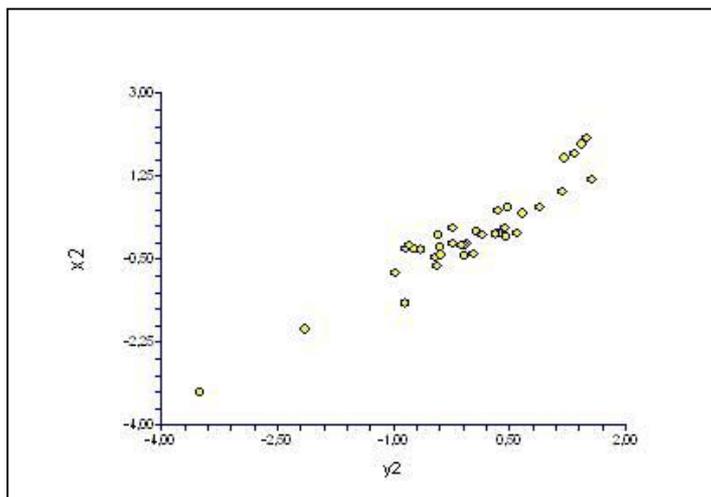


Figura 3-7. Puntuaciones de las variables originales a partir de u_2 y v_2

Capítulo 7

Basado sólo en la magnitud de los coeficientes canónicos a_{ij} y b_{ij} , el orden de contribución de las variables x_i a la primera variable u_1 es x_8 x_7 x_4 x_{11} x_2 x_1 x_{10} x_6 x_5 x_9 y x_3 , y el orden de las variables y en v_1 es y_4 y_3 y_1 y_5 y_2 ; para las dos siguientes variables, u_2 es x_4 x_2 x_{11} x_7 x_8 x_6 x_5 x_1 x_{10} x_3 y x_9 , y v_2 es y_3 y_5 y_1 y_2 y y_4 .

Debido a la inestabilidad de los coeficientes es mejor describir las variables canónicas a través de su correlación con las variables originales x_i e y_i , denominadas cargas canónicas. La tabla 8-7 expone las cargas canónicas directas y cruzadas de las dos primeras variables canónicas.

A partir de las cargas canónicas se calcula la redundancias: la varianza total de las once variables x explicadas por las 5 variables y es 39,4%, y la varianza de las 5 y explicadas por las 11 x es 59,5%.

Parámetro	Variable	u_1	u_2	v_1	v_2
LT	x_1	0,6775	-0,4598	0,6582	-0,4329
WT	x_2	-0,6994	0,3480	-0,6795	0,3276 *
RT	x_3	0,1653	0,1401	0,1606	0,1319
EMT	x_4	-0,7304	0,3944	-0,7095*	0,3713
G	x_5	-0,2967	0,1890	-0,2883	0,1780
2HG	x_6	-0,3182	0,1774	-0,3091	0,1670
B	x_7	-0,6025	-0,5996	-0,5853	-0,5645 *
2HB	x_8	-0,6911	-0,5373	-0,6714	-0,5058 *
MIU	x_9	-0,2053	0,0359	-0,1995	0,0338

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

Parámetro	Variable	u_1	u_2	v_1	v_2
MMD	x_{10}	0,1193	-0,2661	0,1159	-0,2505
F	x_{11}	-0,8561	-0,2280	-0,8317 *	-0,2147
h	y_1	0,1239	0,7482 *	0,1276	0,7947
h/r	y_2	-0,2497	-0,7306 *	-0,2571	-0,7761
α	y_3	0,3360	0,2168	0,3459	0,2303
F_{\max}	y_4	-0,8902 *	-0,3470	-0,9163	-0,3685
DF_{\max}	y_5	-0,8268 *	0,2126	-0,8510	0,2258

Tabla 8-7. Cargas canónicas. Símbolo * indica las cargas canónicas cruzadas de mayor magnitud

La tabla 8-7 muestra que las variables canónicas u_1 y u_2 están correlacionadas con variables mas ó menos de la misma naturaleza y las variables v_1 y v_2 están relacionadas con variables originales distintas; u_1 está altamente correlacionado con F(-0,8561), EMT (-0,7304), WT(-0,6994), 2HB(-0,6911), LT(0,6775) y B(-0,6025), u_2 con B(-0,5996), 2HB(-0,5373) LT(-0,4598) y EMT(0,3944) y WT(0,3480) por otra parte v_1 altamente correlacionado con F_{\max} (-0,9163) y DF_{\max} (-0,8510) y v_2 con h (0,7947) y h/r (-0,7761).

Si repasamos las cargas canónicas cruzadas se observa que u_1 está muy correlacionado con F_{\max} (-0,8902) y también con DF_{\max} (0,8268), u_2 con h (-0,7482) y h/r (-0,7306), por otra parte v_1 muy correlacionado con F (-0,8317), EMT(-0,7095), y también con WT(-0,6795) y 2HB(-0,6714), finalmente v_2 esta correlacionado principalmente con B(-0,5645) 2HB(-0,5058), también con LT(-0,4329) y EMT (0,3713).

Capítulo 7

Las cargas canónicas cruzadas conduce a sugerir que u_1 puede ser descrita en términos de EMT y F, v_1 puede ser descrita en términos de F_{\max} y DF_{\max} , u_2 en términos de B y 2HB y v_2 en términos de h y h/r. Con esta simplificación la interpretación de las correlaciones se simplifica: el primer par de variables canónicas, $u_1 v_1$, relaciona variables de alargamiento bajo carga axial (aunque en el cálculo de F también interviene la rigidez de flexión) del KES-F con los parámetros del esfuerzo necesario para extraer la probeta y recorrido realizado del método anillo-UPC y el segundo par, $u_2 v_2$, relaciona los parámetros de rigidez a la flexión del KES-F con las variables geométricas del anillo-UPC.

Un posterior análisis entre el grupo x (LT, WT, EMT, B, 2HB, F) y el grupo y (F_{\max} , DF_{\max}) de las variables con más carga que integran $u_1 v_1$ se llega al siguiente par de variables con un coeficiente de correlación canónico de 0,978096 y unas redundancias de 44,3% y 71,0%:

$$u_1 = -0,2249 \text{ LT} + 0,4379 \text{ WT} - 0,7973 \text{ EMT} - 0,8940 \text{ B} + 1,1167 (2\text{HB}) + 0,9592 \text{ F}$$

$$v_1 = 0,9780 F_{\max} + 0,0296 DF_{\max}$$

La representación de las puntuaciones entre los dos conjuntos de variables x e y a partir de las primeras variables canónicas u_1 y v_1 se presenta en la figura 4-7.

Un posterior análisis entre el grupo x (LT, WT, EMT, B, 2HB) y el grupo y (h, h/r) de las variables con más carga que integran $u_2 v_2$ se llega al siguiente par de variables con un coeficiente de correlación canónico de 0,7950 y unas redundancias de 20,4% y 56,5%:

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

$$u_2 = -0,2440 \text{ LT} - 1,4043 \text{ WT} + 1,5548 \text{ EMT} - 0,8325 \text{ B} - 0,1165 (2\text{HB})$$

$$v_2 = -0,1127 \text{ h} - 1,1013 \text{ h/r}$$

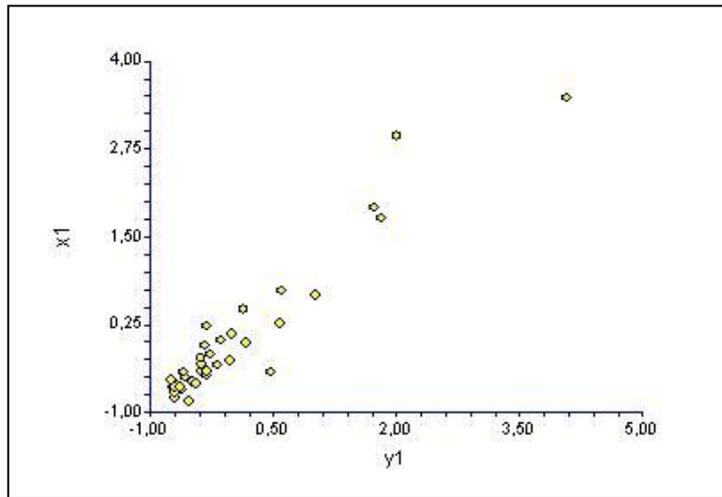


Figura 4-7. Puntuaciones de las variables originales a partir de u_1 y v_1

La representación de las puntuaciones entre los dos conjuntos de variables x e y a partir de las primeras variables canónicas u_1 y v_1 se presenta en la figura 5-7.

Respecto a la predicción se jerarquiza las variables anillo-UPC como variables independientes x por ser un procedimiento más “universal” y con estas predecir las variables KES-F, que actúan de variables dependientes y .

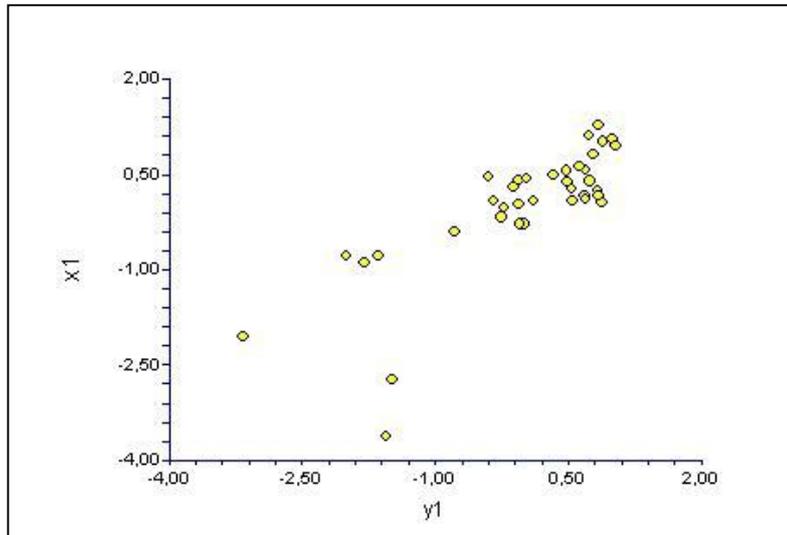


Figura 5-7. Puntuaciones de las variables originales a partir de u_2 y v_2

A partir de las dos anteriores ecuaciones se procede a encontrar las regresiones entre los parámetros KES-F y los parámetros anillo-UPC.

La regresión entre la variable KES-F (LT) y las variables anillo-UPC (F_{max} , DF_{max} , h y h/r) se muestra en la ecuación siguiente:

$$LT = 1,3678 - 0,0121 h - 0,0172 DF_{max}$$

La tabla 9-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 10-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido de 61,00%.

La regresión entre la variable KES-F, (WT) y las variables anillo-UPC (F_{max} , DF_{max} , h y h/r) se muestra en la ecuación siguiente:

$$WT = -21,5689 + 0,87108 \cdot DF_{max}$$

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	1,3678	0,0906	15,0823	0,0000
h	-0,0121	0,0038	-3,1574	0,0033
DF _{max}	-0,0172	0,0026	-6,5546	0,0000

Tabla 9-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de LT

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,2654	2	0,1327	29,170	0,0000
Residual	0,1547	34	0,0045		
Total	0,4201	36			

Tabla 10-7. Análisis de la regresión de LT

La tabla 11-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 12-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de correlación es 0,6975 y el coeficiente de determinación corregido de 47,1842%.

La regresión entre la variable KES-F (EMT) y las variables anillo-UPC, (F_{max} , DF_{max} , h y h/r) se muestra en la ecuación siguiente:

$$EMT = -20,6864 + 0,2739 h + 0,6990 \cdot DF_{max}$$

Capítulo 7

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	-21,5689	5,1062	-4,2240	0,0002
DF _{max}	0,8710	0,1512	5,7586	0,0000

Tabla 11-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de WT

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	501,9900	1	501,9900	33,1600	0,0000
Residual	529,8210	35	15,1377		
Total	1.031,8100	36			

Tabla 12-7 Análisis de la regresión de WT

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	-20,6864	3,6257	-5,7053	0,0000
h	0,2739	0,1539	1,7796	0,0841
DF _{max}	0,6990	0,1055	6,6253	0,0000

Tabla 13-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de EMT

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

La tabla 13-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 14-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido de 57,3228%.

La regresión entre la variable KES-F (B) y las variables anillo-UPC (F_{\max} , DF_{\max} , h y h/r) se ha realizado con la transformación Box Cox $\lambda=-0,413$, y la ecuación de regresión obtenida ($B^* = B^\lambda$) es:

$$B^* = 3,4666 - 0,0001 F_{\max} - 0,2365 h/r$$

La tabla 15-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 16-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido de 70,268%.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	366,1840	2	183,0920	25,1800	0,0000
Residual	247,2540	34	7,2721		
Total	613,4380	36			

Tabla 14-7. Análisis de la regresión de EMT

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	3,4666	0,1387	24,9789	0,0000
F_{\max}	-0,0001	0,0000	-5,2103	0,0000
h/r	-0,2365	0,0506	-4,6728	0,0000

Tabla 15-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de B*

Capítulo 7

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	10,6758	2	5,3378	43,5400	0,0000
Residual	4,1682	34	0,1225		
Total	14,8440	36			

Tabla 16-7. Análisis de la regresión de B*

La regresión entre la variable KES-F (2HB) y las variables anillo-UPC (F_{\max} , DF_{\max} , h y h/r) se ha realizado con la transformación Box Cox $\lambda=-0,113$, y la ecuación de regresión obtenida ($2HB^* = 2HB^\lambda$) es:

$$2HB^* = 0,6228 + 0,00002 F_{\max} + 0,0203 h/r$$

La tabla 17-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 18-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido de 71,2208%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	0,6228	0,0156	39,7988	0,0000
F_{\max}	0,0000	0,0000	6,3974	0,0000
h/r	0,0203	0,0057	3,5599	0,0011

Tabla 17-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de 2HB*

Correlación entre los métodos de ensayo anillo-UPC y KES-F

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,1420	2	0,0710	45,5500	0,0000
Residual	0,0530	34	0,0015		
Total	0,1950	36			

Tabla 18-7 Análisis de la regresión de 2HB*

La regresión entre la variable KES-F (F) transformada con la potencia $\lambda=0,067$ y las variables anillo-UPC F_{\max} y DF_{\max} ($F^* = F^\lambda$) es:

$$F^* = 0,5345 + 0,00001 F_{\max} + 0,004 DF_{\max}$$

La tabla 19-7 muestra el análisis de los coeficientes de la ecuación y la tabla 20-7 el análisis de la varianza de la regresión. El coeficiente de determinación corregido es de 68,40%.

Parámetro	Coefficientes estimados	Error estándar	T-student	Valor-p
Constante	0,5345	0,0611	8,7465	0,0000
F_{\max}	0,0000	0,0000	4,0058	0,0003
DF_{\max}	0,0049	0,0019	2,5108	0,0170

Tabla 19-7. Nivel de significación de los coeficientes de regresión de F^*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Modelo	0,0945	2	0,0472	39,9700	0,0000
Residual	0,0402	34	0,0011		
Total	0,1347	36			

Tabla 20-7. Análisis de la regresión de F*

7.5 Conclusiones

En este capítulo se han evaluado las propiedades mecánicas de 37 tejidos comerciales mediante dos sistemas de evaluación objetiva: KES-F y anillo-UPC. Se han relacionado ambos métodos a través de la correlación entre sus parámetros y se han establecido ecuaciones de regresión que permiten predecir algunos parámetros KES-F a partir del método del anillo.

Concluyendo que:

- Existen dos variables (con p-valor 0,0000) que relacionan, por una parte, los parámetros KES-F (LT, WT, EMT, B, 2HB, F) con parámetros del ensayo del anillo-UPC (F_{max} y DF_{max}), mediante una correlación canónica de 0,97 y ,por otra, los parámetros KES-F (LT,WT, EMT, B, 2HB) con parámetros del ensayo del anillo-UPC (h y h/r) mediante una correlación canónica de 0,94.

De esta correlación de parámetros se desprende que:

- Simplificando la anterior correlación se puede aproximar la naturaleza de dicha relación como sigue: las variables de alargamiento bajo carga axial (EMT y F) (aunque en el cálculo de F también interviene la rigidez de flexión) del KES-F están relacionadas con los parámetros del esfuerzo necesario para extraer la probeta y recorrido (F_{max} y DF_{max}) realizado del método anillo-UPC y por otra parte los parámetros de rigidez a la flexión (B y 2HB) del KES-F están relacionadas con las variables geométricas del anillo-UPC (h y h/r).

- Se han establecido unas ecuaciones de regresión entre los principales parámetros KES-F (según correlaciones canónicas) y los principales parámetros del ensayo del anillo-UPC (según correlaciones canónicas). La h y DF_{max} explican el 61 % de la variabilidad de la linealidad de la tracción (LT); la F_{max} explica el 47 % de la energía de tracción (WT); la h y DF_{max} explican el 57 % del alargamiento a tensión máxima (EMT), la F_{max} y la h/r explican el 70 % de la rigidez a la flexión (B), la F_{max} y h/r explican el 71 % de la histéresis de la rigidez a la flexión (2HB) y la F_{max} y la DF_{max} explican el 68 % de la Formabilidad.

La modificación del ensayo del anillo denominada anillo-UPC ring puede ser una alternativa más sencilla, universal y económica que los clásicos sistemas evaluación objetiva de los tejidos (FAST y KES-F).

7.6 Bibliografía

- (1) Ellis, B. C., Garnsworthy, R. K. A Review of Techniques for the Assessment of Hand. *Textile Research Journal* 4 1980: pp. 231 – 238
- (2) Mogahzy, Y.E., Kilinc, F.S., Hassan, H. Developments in measurement and evaluation of fabric hand. Pp 45-65. In: "Behery H.M. *Effect of mechanical and*

physical properties on fabric hand". Woodhead publishing in textiles. Cambridge 2005.

(3) Kawabata, S. *The standardization and analysis of handle evaluation*. The Textile Machinery Society of Japan. 1980. Osaka. Japan.

(4) De Boss A., Tester, D.H. A system for fabric objective measurement and its application in fabric and garment manufacture. *CSIRO Report No. WT92.02*. 1994.

(5) Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Correlation Analysis between a Modified ring method and the FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9(1) (2014) (*in press*).

(6) Matthews, J.W.A. *The introduction of objective measurement into the Australian wool textile and clothing industries*, in: *Objective Measurement: Applications to Product Design and Process Control*. Kawabata, S., Postle, R., Niva, M (editors). 1985. Textile Machinery Society of Japan

CAPÍTULO 8

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE ACABADO “SILK-LIKE” EN LAS PROPIEDADES DEL TEJIDO

INDICE	página
1 Introducción	8-3
2 Objetivos	8-4
3 Materiales y métodos	8-4
4 Resultados y discusión	8-9
4.1 La pérdida de peso como variable de control del proceso	8-9
4.2 Influencia de las variables del proceso en el cayente	8-12
4.3 Influencia de las variables del proceso en la mano	8-14
4.4 Modelos de regresión entre la pérdida de peso y el cayente	8-19
4.5 Modelos de regresión entre la pérdida de peso y la mano	8-21
5 Conclusiones	8-24
6 Bibliografía	8-25

Capítulo 8

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE ACABADO "SILK-LIKE" EN LAS PROPIEDADES DEL TEJIDO

RESUMEN

Se ha sometido un tejido de calada de PES 100% a un proceso de acabado "silk-like" en una planta piloto mediante un plan experimental de dos factores (concentración de sosa cáustica y tiempo de vaporizado) a tres niveles cada uno, con el fin de analizar la influencia de las variables del proceso en el cayente y mano de los tejidos, así como la relación entre la pérdida de peso y las propiedades del tejido acabado.

Se constata la existencia de una relación estadísticamente significativa entre la pérdida de peso del tejido y las variables de proceso estudiadas.

El tiempo de vaporizado no afecta a ninguno de los indicadores de cayente seleccionados, si bien, en algunos, interactúa significativamente con la concentración de sosa cáustica, la cual afecta a tres de los cinco indicadores estudiados.

El tiempo de vaporizado no afecta a ninguna de las propiedades FAST, si bien

Capítulo 8

en algunos, interactúa con la concentración de sosa cáustica, la cual afecta significativamente a todos los parámetros FAST relacionados con la mano. Se han obtenido las ecuaciones de los modelos de regresión que permiten predecir los indicadores de cayente y mano del tejido a partir de la pérdida de peso del tejido.

Capítulo basado en el artículo: Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Influence of silk-like finishing process variables on fabric properties. *Autex Research Journal*. 2014. (in press.)

1.Introducción

El acabado "silk-like" es una práctica industrial bien conocida desde hace tiempo y tiene por objeto conseguir que los tejidos de PES 100% presenten unas propiedades de cayente y mano similares a la seda natural (1).

El proceso de acabado consiste, esencialmente, en tratar los tejidos de poliéster con una solución acuosa de sosa cáustica en diferentes condiciones de concentración, temperatura y tiempo de exposición. Cuando el poliéster reacciona con hidróxidos álcali-metálicos, el polímero sufre una sustitución nucleofílica y se hidroliza. Cuando esta reacción se produce, los iones hidroxilo atacan a los átomos de carbono con electrones deficientes en grupos carbonilo de la fibra de poliéster formando un anión intermedio. La escisión de la cadena continúa y da lugar a la formación de los grupos terminales hidroxilo y carboxilato (2).

Las soluciones calientes de sosa cáustica hidrolizan la superficie de la fibra provocando una disminución gradual de su diámetro y peso. La velocidad con que se produce la hidrólisis de la superficie de la fibra depende de la concentración de álcali y de la temperatura. Diversos estudios muestran que existe una correlación lineal entre el tiempo de tratamiento y la raíz cuadrada del peso residual de las fibras (2 y 3). Otros encuentran una dependencia curvilínea entre la pérdida de peso del tejido, la concentración de álcali y la temperatura para cada tiempo de tratamiento (1). Tanto la experiencia industrial, como la de varios investigadores, sobre este proceso, ponen de manifiesto que la influencia de la temperatura en el ritmo de la reacción es mayor incluso que la de la concentración de álcali, la cual a su vez es mayor que la del tiempo (2).

Si se combina adecuadamente la temperatura y la concentración de álcali, pueden conseguirse efectos muy interesantes de acabado, ya que la

eliminación de la capa superficial de la fibra produce una superficie ligeramente granosa y ondulada que confiere a los artículos un tacto más suave y un mayor cayente.

2. Objetivos

A nivel industrial, el principal parámetro utilizado para el control de éste proceso de acabado, es la pérdida de peso sufrida por el tejido por acción de la sosa cáustica; sin embargo, esta pérdida es sólo el medio para conseguir el objetivo y no el objetivo propio del tratamiento.

El propósito del presente capítulo es analizar la influencia de las variables del proceso de acabado “silk-like” en el cayente y mano de los tejidos, así como la relación entre la pérdida de peso y las propiedades del tejido acabado.

3. Materiales y Métodos

Para la realización del estudio se ha utilizado un tejido de calada de Poliéster 100 % (figura 2-8) cuyas características se describen en la tabla 1-8.

El proceso de acabado “silk-like” del tejido, ha sido realizado en una planta piloto de tipo “Pad-Steam” formada por una cubeta de impregnación, zona de vaporizado, tren de lavado y una zona de secado (ver figura 3-8), que se encuentra ubicada en el Laboratorio de Tecnología Textil Química del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial de Terrassa (INTEXTER) de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Características	Crudo, lavado y estabilizado a 120 °C
Composición	PES 100%
Ligamento	Raso ($3e^2$, b. 2,2,1)
Título Urdimbre (Tex)	Filamento continuo torcido. 19,400 Tex
Título trama (Tex)	Filamento continuo cero vueltas. 43,800 Tex
Gramaje (g/m^2)	260,540
Grosor ($2 g/cm^2$)	0,497

Tabla 1-8. Características del tejido de calada estudiado

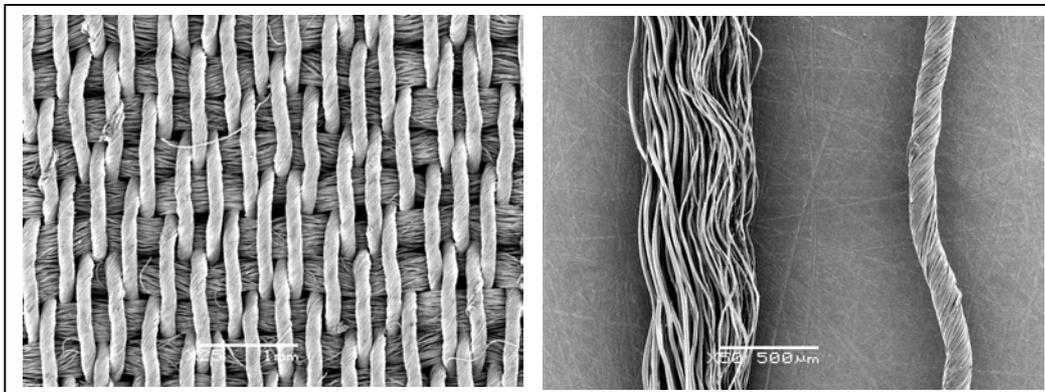


Figura 2-8. Imagen de la izquierda: tejido de calada estudiado formado por filamento continuo de Poliéster torcido (urdimbre) y filamento continuo de Poliéster sin torsión (trama). Imagen de la derecha: detalle del filamento de trama (izquierda) y del filamento continuo de la urdimbre (derecha).

Capítulo 8

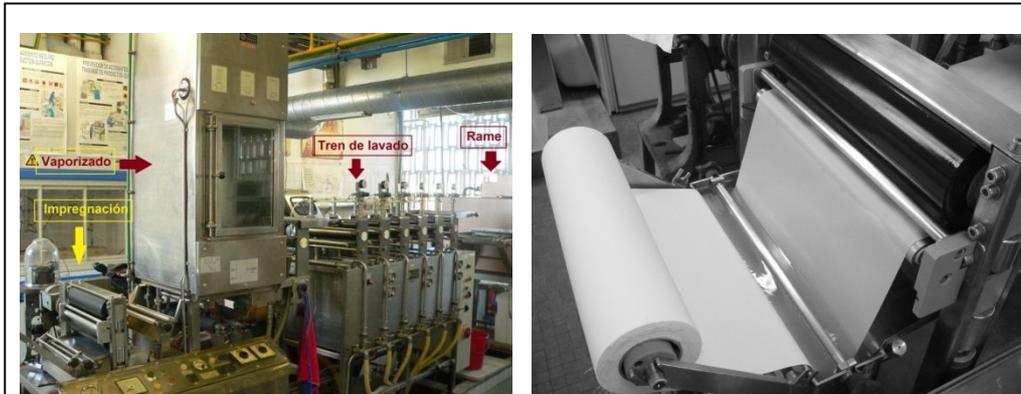


Figura 3-8. Planta piloto tipo Pad-Steam utilizada en el proceso de acabado del tejido

Los detalles de la configuración de dicha planta piloto se muestran en la tabla 2-8.

Ancho de la Planta Piloto	33 cm
Presión del Foulard	10 kg
Concentración de NaOH	300, 325 y 350 g/l + 2g/l de Sandopan DTC
Temperatura de Vaporizado	105 °C con vapor saturado
Tiempo de vaporizado	8, 10 y 12 minutos
Lavado	2 cubetas de lavado con H ₂ O a 60°C y 1 cubeta a temperatura ambiente
Neutralizado	2 cubetas con una solución de 2 g/l de Ácido acético al 80%
Temperatura del Rame	90°C
Tiempo de secado en la Rame	1 min

Tabla 2-8. Características del equipo Pad-Steam utilizado

Para la realización del estudio se ha diseñado un plan experimental de dos factores (concentración de sosa cáustica y tiempo de vaporizado) a tres niveles cada uno – plan 3^2 - (ver figura 4-8) con un resultado de 9 experimentos que acotan la región experimental a las condiciones habituales utilizadas en la industria para este tipología y gramaje de tejidos. El factorial 3^2 permite estudiar los efectos de curvatura además de los efectos lineales y de las interacciones. Este diseño tiene un total de 8 grados de libertad con lo cual no nos queda grados de libertad para evaluar el error experimental. Los efectos principales tienen 2 grados de libertad cada uno y la interacción 4 grados de libertad. Si hay dos réplicas, habrá $2 \cdot 3^2 - 1 = 17$ grados de libertad totales y 9 grados de libertad del error.

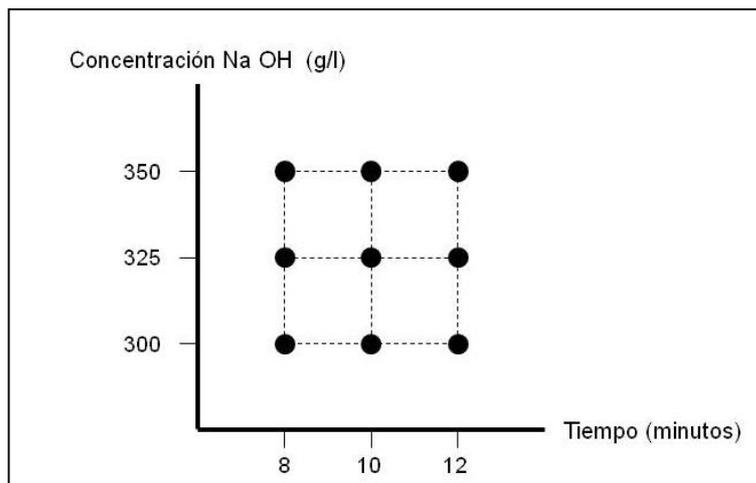


Figura 4-8. Representación del diseño 3^2 , donde cada punto es la respuesta medida

En la hipótesis nula H_0 de este plan, las propiedades del tejido estudiado, no son sensibles a las variaciones del proceso. Por lo tanto los efectos de los

Capítulo 8

factores considerados son nulos. La hipótesis alternativa sería que dichas propiedades son sensibles a las variaciones del proceso.

Ensayo	Unidades	Equipo	Método
Pérdida de peso	%	Balanza	UNE 339-76
Índice de cayente (DR%)	%	Drapómetro digital UPC	(4)
Número de nodos (FN)	nodos	Drapómetro digital UPC	(4)
Altura del nodo (FH)	mm	Drapómetro digital UPC	(4)
Irregularidad del cayente (DU%)	%	Drapómetro digital UPC	(4)
Distribución de nodos (Gp%)	%	Drapómetro digital UPC	(4)
Formabilidad Global (F)	mm ²	FAST	(6)
Extensibilidad por urdimbre al 100% (Wp E100)	%	FAST	(6)
Extensibilidad por trama al 100% (We E100)	%	FAST	(6)
Alargamiento al Bies (Be)	%	FAST	(6)
Rigidez a la Flexión Global (BR)	μN·m	FAST	(6)
Rigidez Cizalladura (G)	N/m	FAST	(6)
Grosor a 100 g/cm ² (GT 100)	mm	FAST	(6)

Tabla 3-8. Ensayos realizados de los tejidos

De los tejidos obtenidos con cada condición de acabado, se han realizado una serie de análisis con el fin de determinar las principales propiedades físico-mecánicas que permiten conocer o deducir, a nivel industrial, tanto el cayente como la mano de los tejidos. Para la evaluación del cayente se han utilizado 5 de los 7 indicadores propuestos en el capítulo 3 de la tesis. En el caso de la mano, aunque existen ensayos mucho más sofisticados (5) y en aras a su aplicabilidad industrial, se ha optado por la parte de los ensayos del equipo FAST que están más relacionados con la mano, como: grosor, extensibilidad, rigidez a la flexión y a la cizalladura. En la tabla 3-8 se muestran los ensayos, equipos y metodología utilizada. Las muestras analizadas han sido acondicionadas de acuerdo con la norma UNE 40-139-75 y los ensayos se han realizado en el laboratorio de física textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya.

4. Resultados y discusión

4.1 La pérdida de peso como variable de control del proceso

En el modelo de regresión, la pérdida de peso (respuesta) y los niveles estudiados de las variables del proceso se muestran en la tabla 4-8.

El resultado de ajustar un modelo de regresión para describir la relación entre pérdida de peso y las variables de proceso, en el que se han eliminando los términos no significativos y refinando el modelo puede simplificarse (ver tabla 4-8), forma una superficie de respuesta mostrada en la figura 5-8.

Puesto que los valores p de la tabla 4-8 son menores que 0,05, puede concluirse que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables del proceso de acabado y la pérdida de peso del tejido, con un nivel

Capítulo 8

de confianza del 95,0%.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F-Fisher	Valor-p
Concentración	69,1776	1	69,1776	107,730	0,0000 *
Tiempo	18,0811	1	18,0811	28,160	0,0002 *
Concentración x Concentración	0,0544	1	0,0544	0,080	0,7763
Concentración x Tiempo	24,3114	1	24,3114	37,860	0,0001 *
Tiempo x Tiempo	1,9693	1	1,9693	3,070	0,1077
Bloque	8,8144	1	8,8144	13,730	0,0035
Error	7,0635	11	0,6421		
Total	129,4720	17			

$R^2 = 94,54$; Error estándar = 0,80; Estadístico Durbin-Watson = 1,54 ($p = 0,0789$)

Tabla 4-8. Análisis de la varianza de la regresión de la pérdida de peso respecto a las variables de proceso

Un modelo de regresión que relaciona la respuesta "y" con los factores x_1 y x_2 que se basa en el diseño 3^2 , es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon$$

El resultado de ajustar este modelo para describir la relación entre la pérdida de peso y las variables de proceso, eliminando los términos no significativos, se muestra en la siguiente ecuación:

$$y = 139,1240 - 0,3739 x_1 - 14,2287 x_2 + 0,0348 x_1 x_2$$

La superficie de respuesta 3D de la ecuación de regresión se representa en la figura 5-8 que presenta un valor óptimo (mínimo) en la región experimental del 23,5258 % que se obtiene en los niveles de 300 (g/l) de concentración de sosa cáustica y 10,7358 minutos de tiempo.

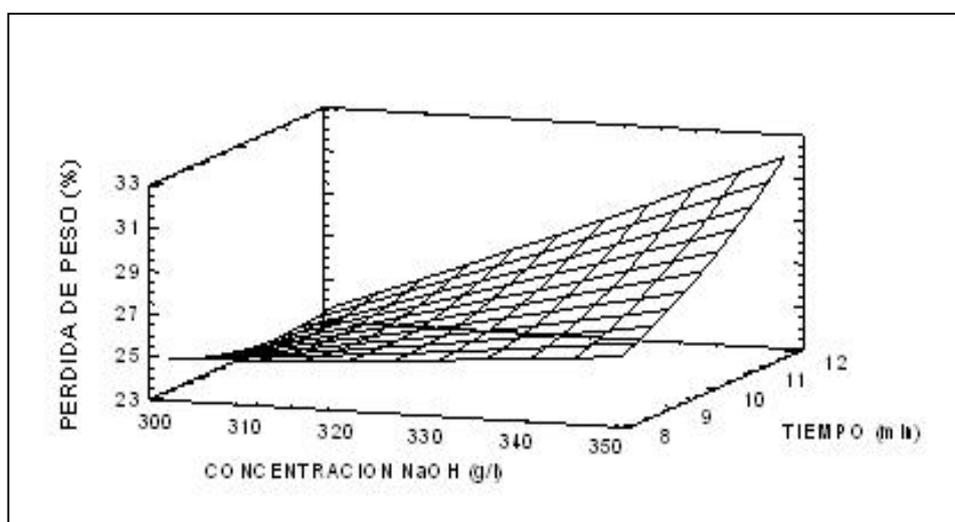


Figura 5-8. Superficie de respuesta estimada de la pérdida de peso en función de la concentración de sosa cáustica y el tiempo de vaporizado.

4.2 Influencia de las variables de proceso en el cayente

Los niveles de significación calculados a través de las ANOVAS (Valor-p) correspondientes a las respuestas, se muestran en la tabla 5-8..

En el cayente, se observa que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguno de los indicadores de esta propiedad, si bien, en algunos casos interactúa con la concentración de sosa cáustica. La concentración de NaOH afecta sólo a tres indicadores: DR%, DU% y FN (figuras 6-8, 7-8, 8-8 y 9-8).

Pérdidas (%)	Tiempo vaporizado	Concentración Na OH	Tiempo x Concentración
DR %	0,319	0,012*	0,432
FN	0,769	0,028*	0,018*
FH	0,882	0,087	0,033*
DU%	0,572	0,042*	0,074
Gp%	0,372	0,663	0,806

Tabla 5-8. Resultados de las ANOVA. Marcados en asterisco (*) los inferiores a 0,05

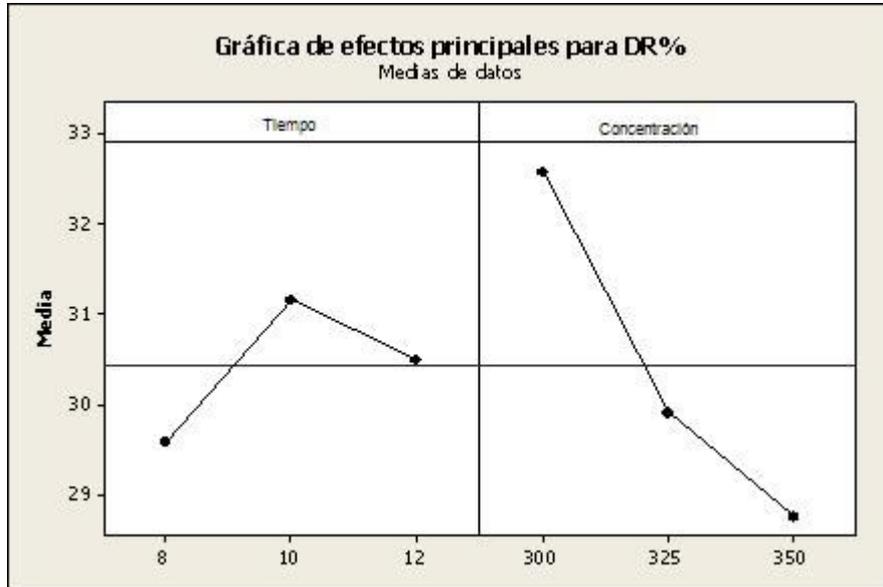


Figura 6-8. Gráfica de los efectos principales para el DR%

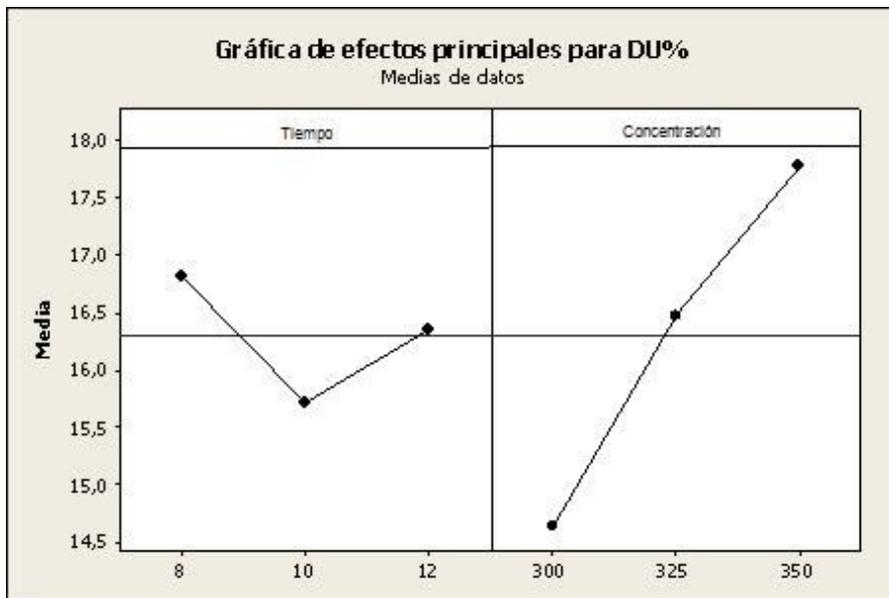


Figura 7-8. Gráfica de los efectos principales para el DU%

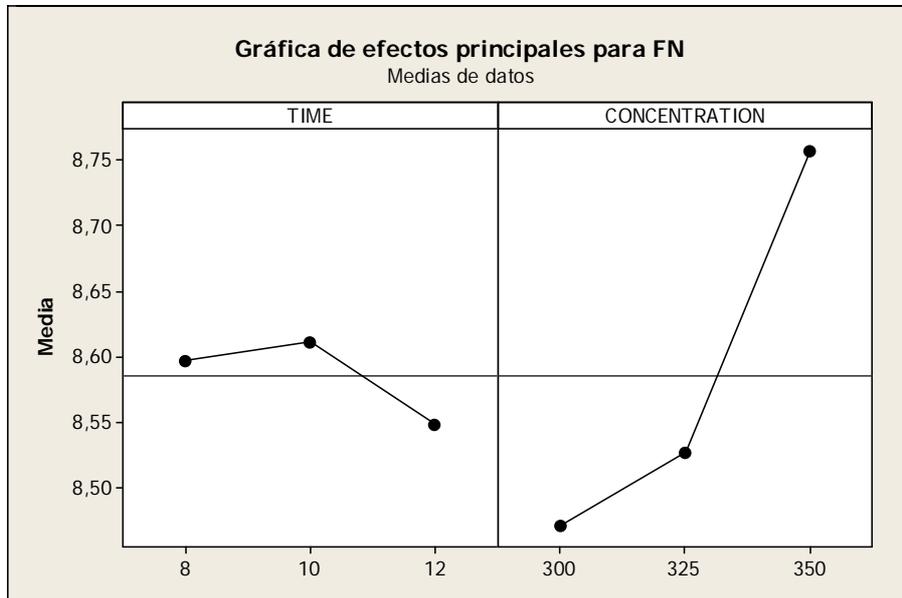


Figura 8-8. Gráfica de los efectos principales para FN

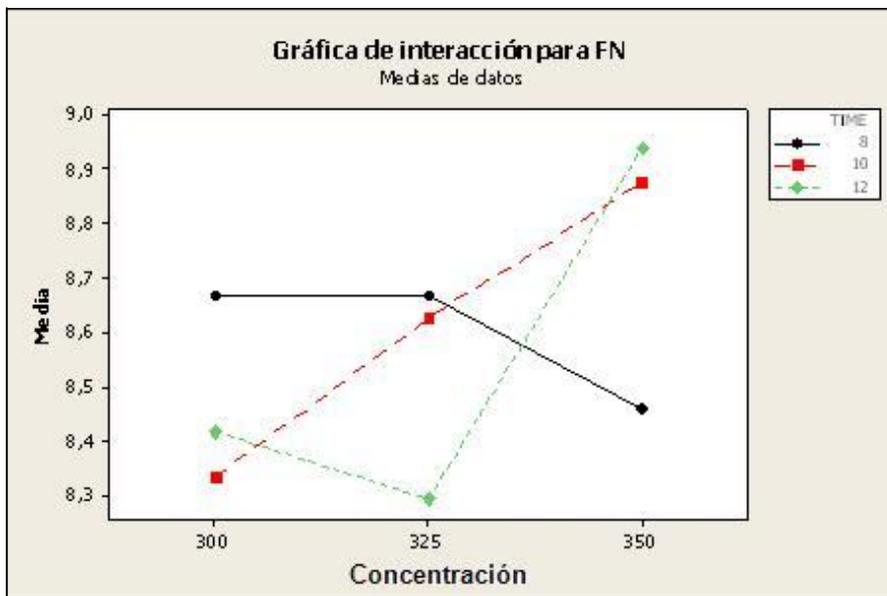


Figura 9-8. Gráfica de la interacción para FN

4.3 Influencia de las variables del proceso sobre la mano

En el caso de la mano, se observa también, que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguna de las propiedades FAST, si bien en Be, G y GT100, interactúa de forma significativa con la concentración de sosa cáustica (figuras 10-8, 11-8, 12-8, 13-8, 14-8, 15-8, 16-8 y 17-8).

La concentración de NaOH afecta significativamente a todos los parámetros FAST relacionados con la mano (ver tabla 6-8).

Pérdidas (%)	Tiempo vaporizado	Concentración Na OH	Tiempo Concentración
EU 100%	0,275	0,021*	0,195
ET 100%	0,345	0,017*	0,314
Extensibilidad al Bies (Be)	0,335	0,000*	0,023*
Rigidez a la Flexión Global (BR)	0,493	0,002*	0,816
Rigidez a la Cizalladura (G)	0,256	0,000*	0,022*
Grosor a 100 g/cm² (GT100)	0,689	0,007*	0,047*

Tabla 6-8. Valores p de cada respuesta. Marcados en asterisco los inferiores a 0,05

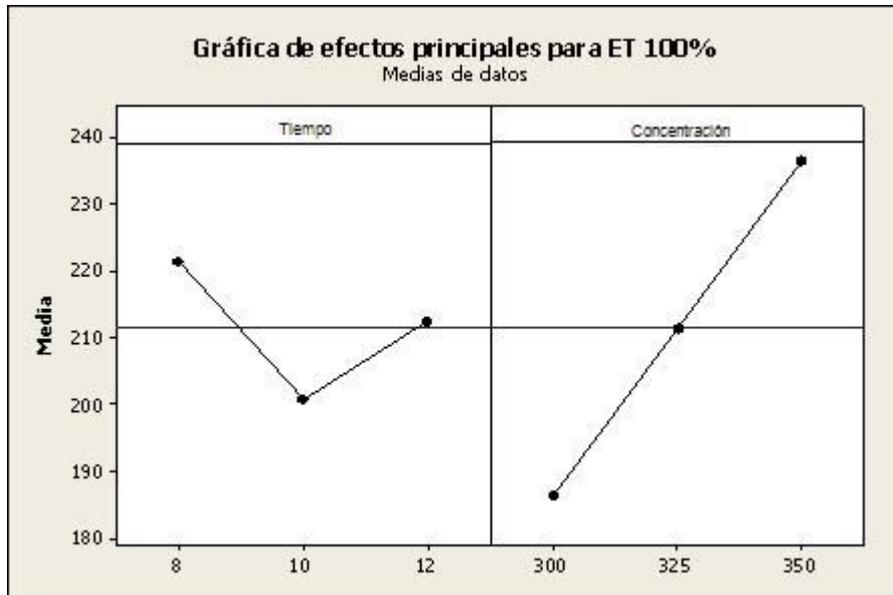


Figura 10-8. Gráfica de los efectos principales para ET 100%

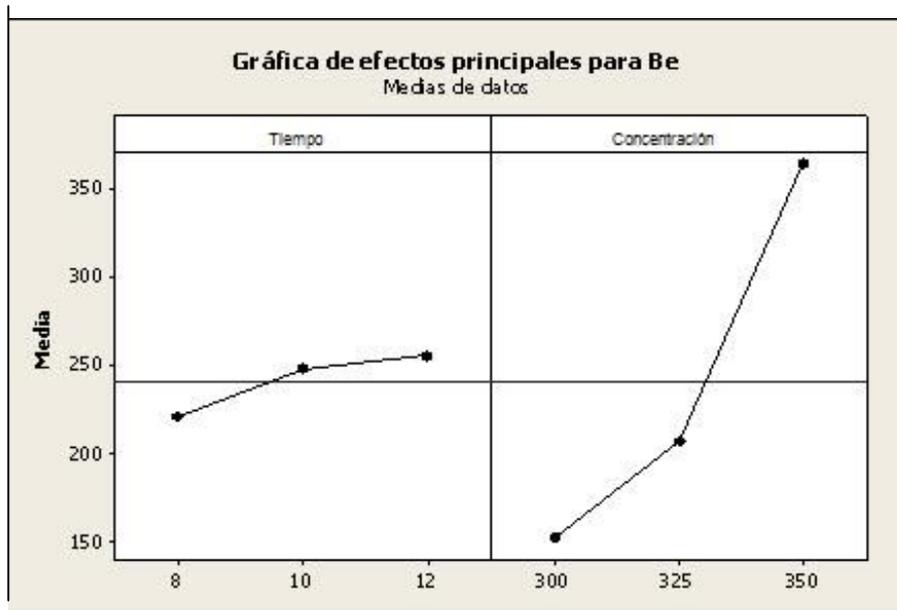


Figura 11-8. Gráfica de los efectos principales para Be

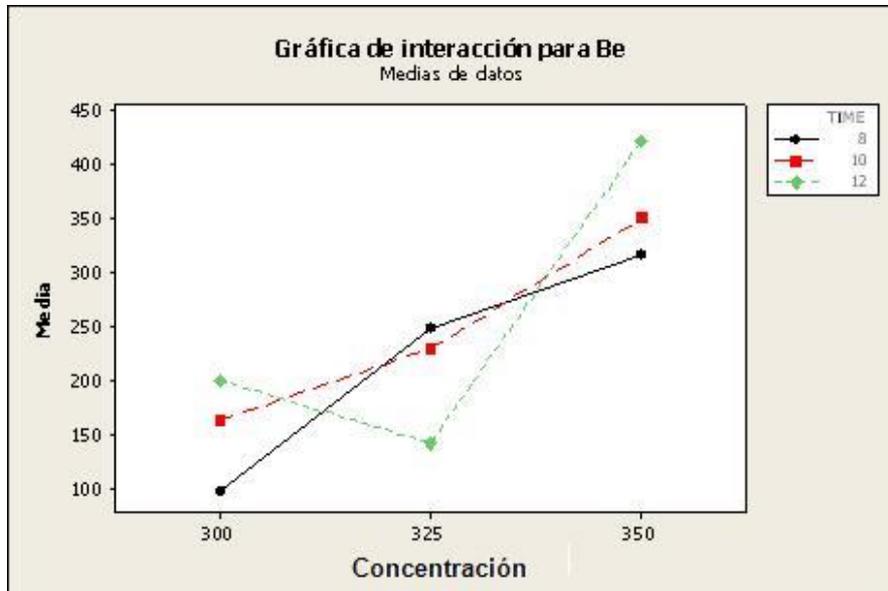


Figura 12-8. Gráfica de las interacciones para Be

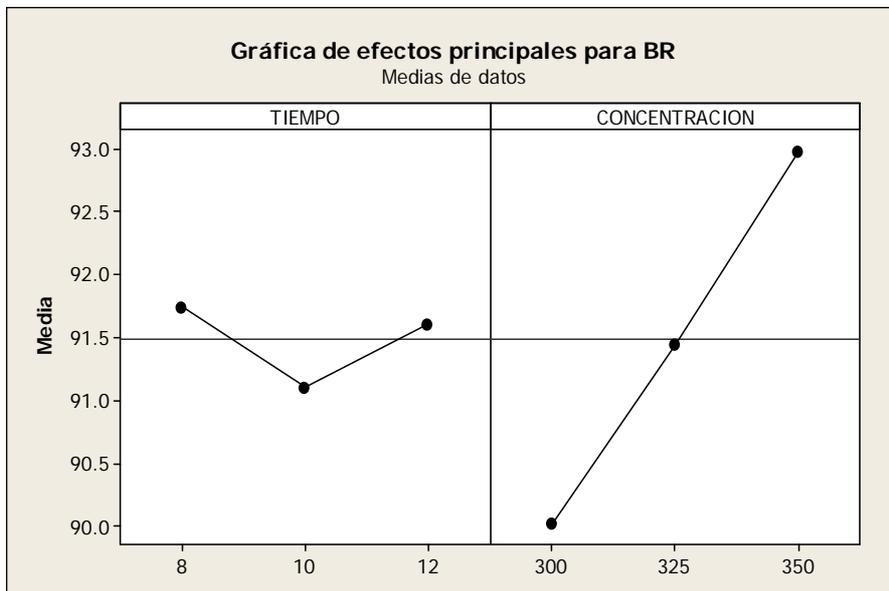


Figura 13-8. Gráfica de los efectos principales para BR

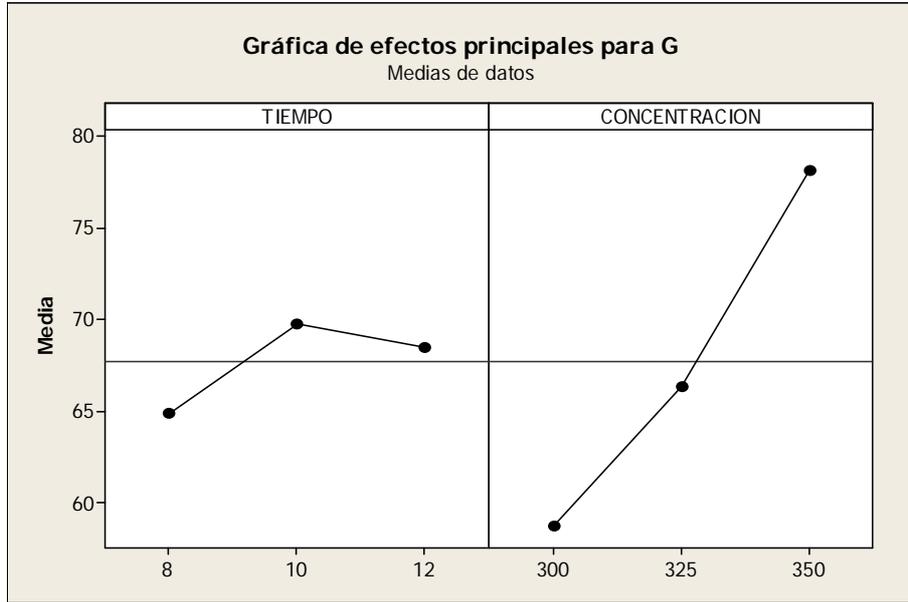


Figura 14-8. Gráfica de los efectos principales para G

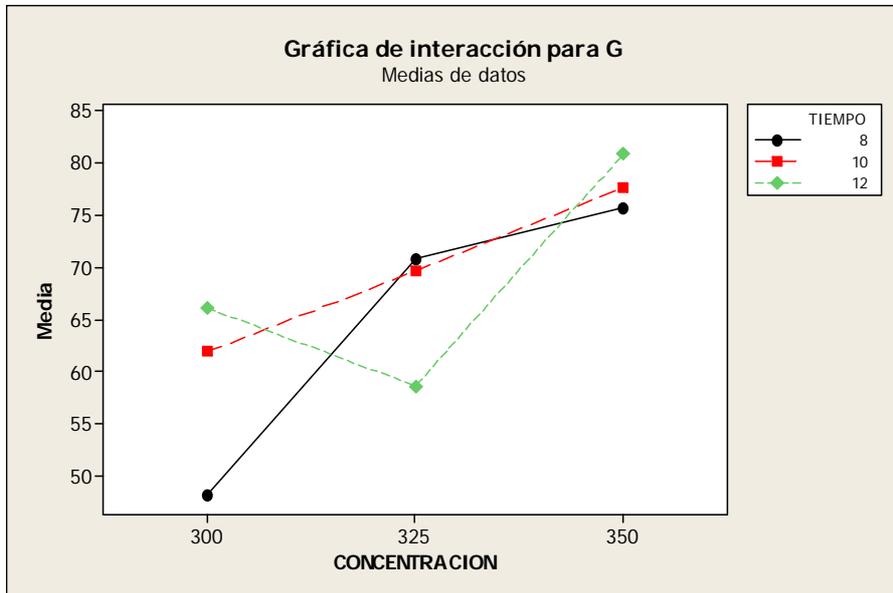


Figura 15-8. Gráfica de las interacciones para G

Influencia de las variables del proceso de acabado "silk-like"

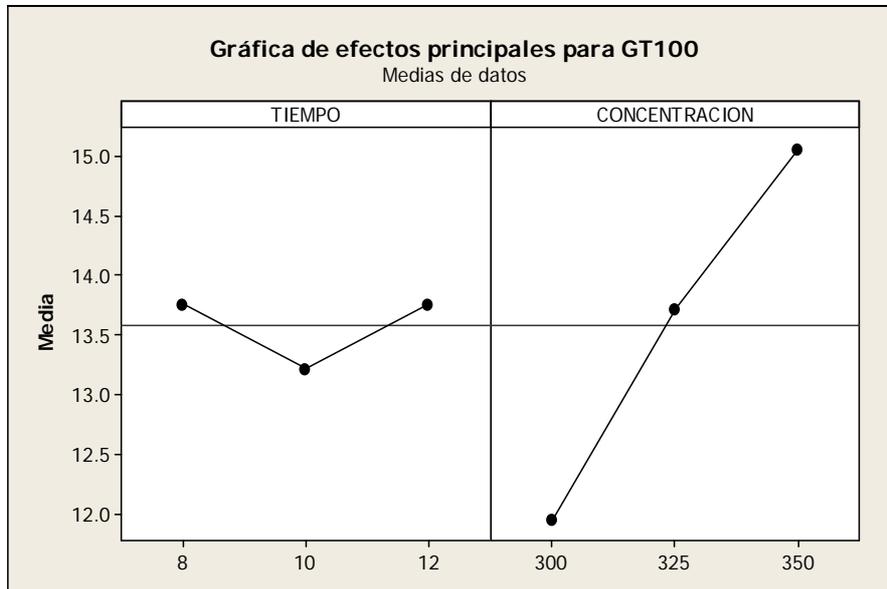


Figura 16-8. Gráfica de los efectos principales para GT100

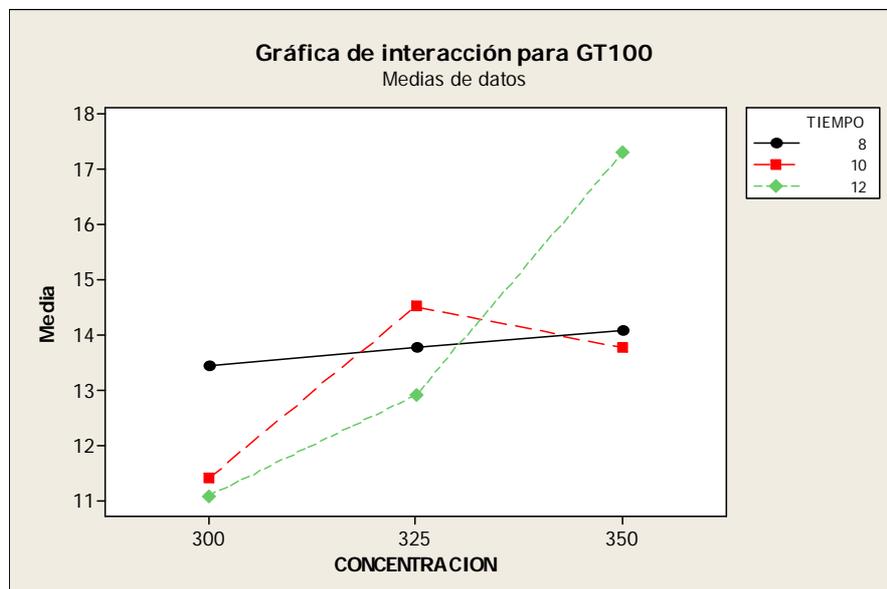


Figura 17-8. Gráficas de los efectos principales para GT100

4.4 Modelos de regresión entre la pérdida de peso y el cayente

Los modelos se representan en la tabla 7-8, mientras que su representación gráfica se muestra en las figuras 18-8, 19-8 y 20-8.

Variable	Modelo	Coefficientes	F-Fisher	Valor-p	R ² (%)
DR%	$y = \frac{1}{a + \frac{b}{x}}$	a = 0,052 b = -0,503	17,790	0,000	52,650
FN	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot x^2}$	a = 62,579 b = 0,015	8,090	0,011	33,590
DU%	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot \sqrt[2]{x}}$	a = -653,259 b = 180,004	10,130	0,005	38,771

Tabla 7-8. Modelos de regresión entre pérdida de peso y cayente

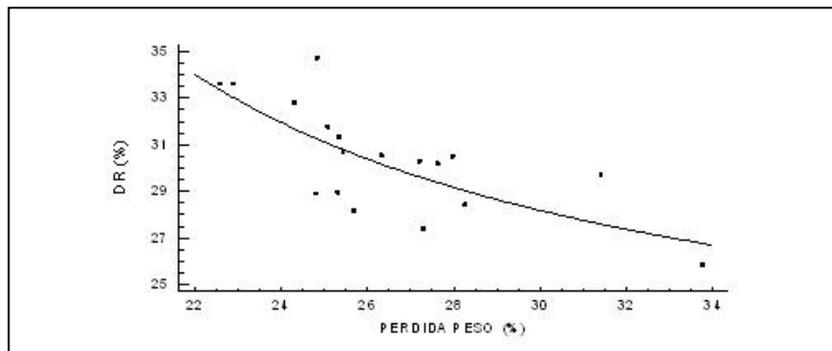


Figura 18-8. Relación entre el índice de cayente DR% y la pérdida de peso

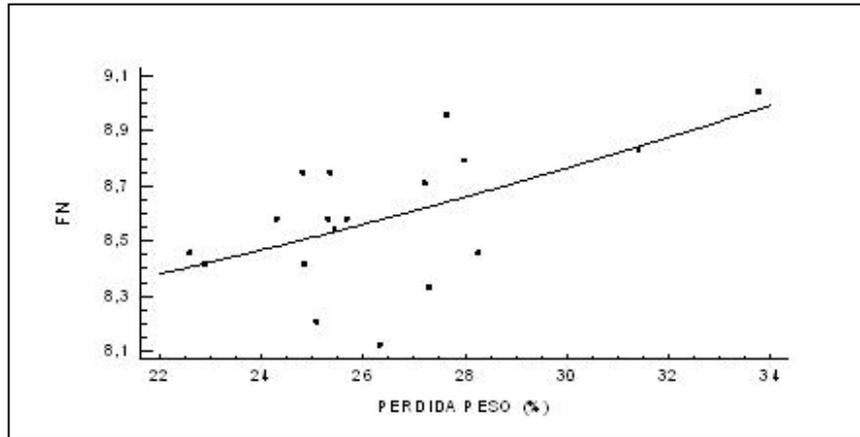


Figura 19-8. Relación entre FN y la pérdida de peso

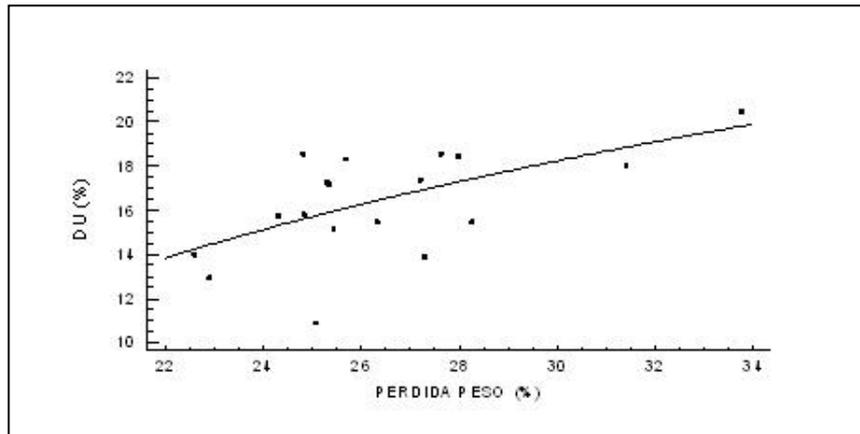


Figura 20-8. Relación entre DU% y la pérdida de peso

4.5 Modelos de regresión entre la pérdida de peso y los indicadores de mano

Capítulo 8

Los modelos se representan en la tabla 8-8, mientras que su representación gráfica se muestra en las figuras 21-8, 22-8, 23-8, 24-8, 25-8 y 26-8.

Variable	Modelo	Coefficientes	F-Fisher	Valor-p	R ² (%)
EU 100	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot x^2}$	a = 15.9567,0 b = 350,430	33,990	0,000	67,994
ET 100	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot x^2}$	a = 9.999,270 b = 50,484	8,170	0,011	33,797
Be	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot x}$	a = -124.668,0 b = 273,983	21,020	0,000	56,783
BR	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot \ln x}$	a = 1.983,290 b = 1.953,470	19,270	0,000	54,641
G	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot \sqrt[2]{x}}$	a = -1.1214,900 b = 3.097,430	8,870	0,008	35,670
GT 100	$y = \sqrt[2]{a + b \cdot x^2}$	a = -2,538 b = 0,269	21,470	0,000	57,298

Tabla 8-8. Modelos de regresión entre pérdida de peso y mano

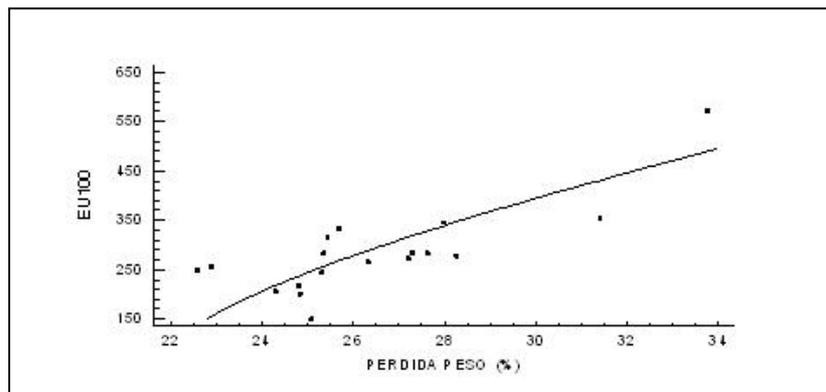


Figura 21-8. Relación entre EU100 y la pérdida de peso

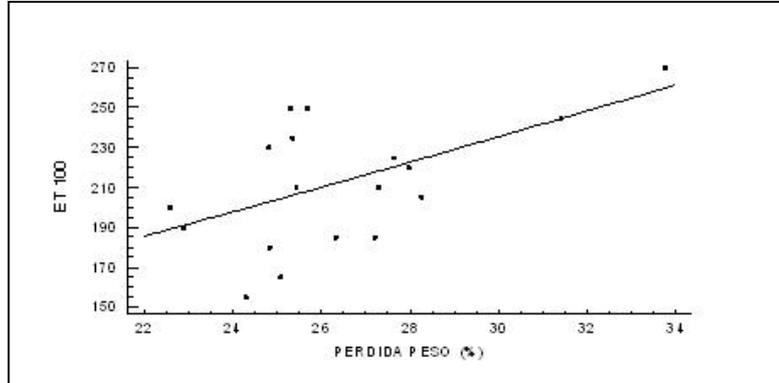


Figura 22-8. Relación entre ET100 y la pérdida de peso

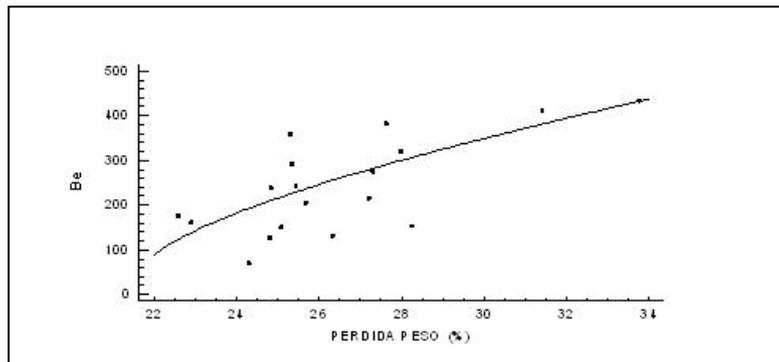


Figura 23-8. Relación entre Extensibilidad al Bies Be y pérdida de peso

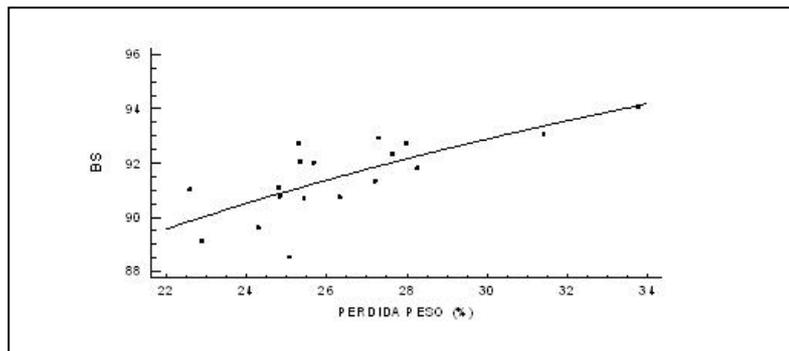


Figura 24-8. Relación entre la Rigidez a la flexión global BS y la pérdida de peso

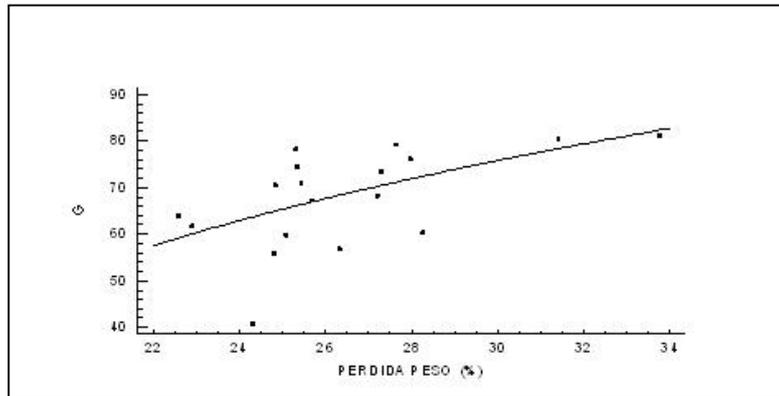


Figura 25-8. Relación entre Rigidez a la Cizalladura G y la pérdida de peso

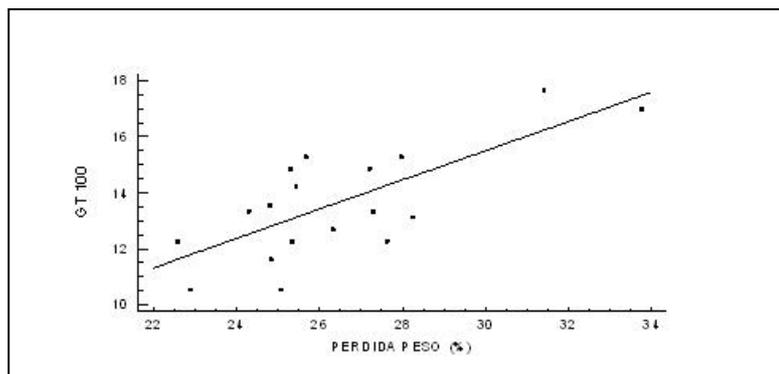


Figura 26-8. Relación entre GT100 y la pérdida de peso

5 Conclusiones

Tal como se ha demostrado por diferentes autores, en este estudio se constata que existe una relación estadísticamente significativa entre la pérdida de peso del tejido y las variables de proceso estudiadas, con un nivel de confianza del 95,0%. El modelo lineal obtenido explica 86,173% de la variabilidad en pérdida de peso.

En el cayente, se observa que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguno de los indicadores seleccionados, si bien, en FN y FH, interactúa significativamente con la concentración de sosa cáustica. La concentración de NaOH sólo afecta a tres indicadores: DR%, FN y DU%.

En la mano, se observa también, que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguna de las propiedades FAST, si bien en Be, G y GT100, interactúa de forma significativa con la concentración de sosa cáustica. La concentración de NaOH afecta significativamente a todos los parámetros FAST relacionados con la mano.

Se han obtenido las ecuaciones de los modelos de regresión que permiten predecir los indicadores de cayente y mano del tejido a partir de la pérdida de peso del tejido. No obstante dichos modelos sólo explican una parte de la variabilidad compartida con la pérdida de peso (entre el 33 y el 67 %).

Tanto el cayente como la mano de los tejidos, son el resultado de la particular interacción entre las características tanto estructurales como físico-mecánicas de sus componentes. De hecho, pueden considerarse como propiedades emergentes y por lo tanto no pueden ser explicadas únicamente por los efectos de un proceso de acabado (en nuestro caso la pérdida de peso).

6 Bibliografía

- (1). Dave, J.; Kumar, R.; Srivastava, H. C. Studies on Modification of Polyester Fabrics I: Alkalyne Hydrolysis. *Journal Applied Polymer Science*, 1987, vol. 33, no. 2, pp. 445-477.
- (2). Zeronian, S. H.; Collins, M. J. Surface Modification of Polyester by Alkaline Treatments. *Textile Progress*, 1989, vol. 20, no. 2, pp. 1-34. ISSN 1870 812 2 55.
- (3). Gacén, J. *Fibras De Poliéster*. 2ª ed. Universitat Politècnica de Catalunya, 1991. ISBN 84-7653-080-3.

Capítulo 8

- (4). Carrera-Gallissà, E.; Capdevila, X.; Valdeperas, J. Assessment of drape indicators for woven fabrics. *Textile Research Journal* (in press.)
- (5). Carrera-Gallissà, E.; Capdevila, X.; Valdeperas, J. Correlation Analysis between a Modified Ring Method and de FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9 (1), 2014. (in press.).
- (6). De Boss A., Tester, D.H. A system for fabric objective measurement and its application in fabric and garment manufacture. *CSIRO Report No. WT92.02*. 1994.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS

INDICE	página
1 Conclusiones generales	9-1
2 Conclusiones particulares	9-2
3 Líneas de investigación futuras	9-11
4 Publicaciones resultantes de la realización de ésta tesis	9-12

Capítulo 9

CONCLUSIONES Y LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS

9.1 Conclusiones generales

1. En esta tesis se ha realizado una adaptación propia del drapómetro Cusick con el fin de digitalizar el proceso de captación de la sombra proyectada por el cayente del tejido. La información obtenida se ha tratado con un programa de análisis de imagen que ha permitido estudiar la forma y geometría del cayente de una forma mucho más potente.

2. De los 36 indicadores de cayente propuestos por los investigadores textiles desde 1968 al 2013, únicamente 7 de ellos contribuyen eficazmente a describir la complejidad del fenómeno. Dichos indicadores se explican por tres factores comunes y se conforman en tres clústeres: el primero describe la intensidad del cayente, el segundo la severidad o rugosidad y el tercero la isotropía geométrica y la variabilidad de su forma. Finalmente se proponen los pasos a seguir para deducir la forma del cayente de un tejido de calada a partir de 4 de éstos 7 indicadores, sin necesidad de disponer de su imagen.

3. En esta tesis se ha desarrollado una adaptación propia del ensayo del anillo que permite su utilización a nivel industrial para deducir propiedades del tejido tan importantes como el cayente, la formabilidad y la mano sin la necesidad de disponer de los caros y lentos equipos de evaluación objetiva de tejidos.

4. En los procesos industriales de acabado de artículos de pañería, es posible controlar la intensidad del cayente de los tejidos de calada mediante el ensayo del anillo sin la necesidad de disponer de un drapómetro.

5. Hasta la fecha, el estudio del cayente de los tejidos, se ha realizado a través de la reducción de éste fenómeno tridimensional mediante la imagen bidimensional de la sombra proyectada por el cayente. Si bien este método ha sido útil para un análisis elemental del fenómeno, presenta notables limitaciones cuando se pretende estudiar en toda su complejidad. Por todo ello sería conveniente que en el futuro, el estudio del cayente de los tejidos se abordara mediante el uso de técnicas de análisis de imagen más potentes que permitan estudiar la realidad tridimensional de éste fenómeno en toda su extensión.

1.2 Conclusiones particulares

1. Por primera vez se ha recopilado cronológicamente y descrito el significado geométrico y matemático de los 36 indicadores de cayente propuestos por los investigadores textiles desde 1968 hasta 2013.
2. Se ha propuesto una nomenclatura única para los diversos parámetros del cayente y de los diferentes indicadores.

3. La mayoría de los 36 indicadores de cayente propuestos hasta la fecha presentan una alta correlación con el $DR\%$ debido a la relación geométrica existente con el área de la sombra proyectada por el cayente. En definitiva, una gran parte de estos indicadores no aportan una mejora sustancial en la comprensión y descripción del cayente, sino que al contrario contribuyen a generar una cierta confusión en la interpretación del fenómeno.
4. En esta tesis se propone un criterio para deducir la forma del cayente del tejido, a partir de 4 indicadores, sin necesidad de disponer de la imagen de su cayente.
5. Dada la elevada correlación existente entre el índice de cayente $DR\%$ y el Valle medio, $VaFR$, (0,993), se propone la utilización de éste indicador como alternativa al procedimiento clásico de determinación del $DR\%$ (recorte y pesado de la sombra del cayente en el papel calibrado de ensayo) por el ahorro de tiempo de ensayo y papel calibrado, que representa.
6. A lo largo de los últimos 45 años, las investigaciones sobre el cayente de los tejidos se han basado en una técnica de análisis (drapómetro Cusick) que reduce un complejo fenómeno tridimensional a una imagen bidimensional, de la cual ha podido estudiarse detalladamente su geometría bidimensional con el fin de inferir su aspecto tridimensional. Esta técnica, aunque útil para un estudio elemental del fenómeno, presenta notables limitaciones de tal forma que el cayente no puede ser descrito mediante un único indicador sino con una serie de ellos.
7. El perfil del cayente de un tejido sobre una superficie plana es una curva fractal puesto que su dimensión, D , calculada mediante el método "Box-Counting" es superior a su dimensión topológica -que es

1. La dimensión fractal de los tejidos analizados en este estudio oscila entre 1,6513 y 1,7377.
8. A medida que disminuye la dimensión fractal D , aumenta la rugosidad del perfil del cayente y viceversa -a mayor D , el perfil es más suave-.
9. La dimensión fractal D y el índice de cayente $DR\%$ presentan una elevada correlación (99,2 %).
10. La dimensión fractal obtenida por el método "Box-Counting" no presenta suficiente sensibilidad para detectar las diferencias de forma de los perfiles del cayente. Esta falta de sensibilidad es debido a que la rugosidad que presentan los perfiles es rectificable, puesto que la distancia entre dos puntos cualesquiera de su contorno es finita.
11. A medida que aumenta el $DR\%$, el perfil del cayente es menos rugoso.
12. A mayor número de nodos, mayor será la sensación visual de cayente.
13. A medida que aumenta el Índice de forma SF , también lo hace el cayente y la rugosidad de su perfil, el cual tiende a aumentar su número de nodos y la severidad de los mismos.
14. A medida que aumenta la longitud media de los Picos, menor es el cayente del tejido y más suave es su perfil proyectado.
15. Cuando menor es la longitud media de los Valles, mayor es el cayente y su rugosidad (menor suavidad del perfil).
16. Cuando menor es el ángulo de caída del pico, mayor es el cayente y la rugosidad de su perfil.
17. Cuando menor es el ángulo de cayente del valle, mayor es el cayente y la rugosidad de su perfil.
18. FDI es un indicador equivalente al indicador de la profundidad media de los nodos dga , puesto que es lo mismo que este dividido por la

diferencia entre el radio la probeta y el disco de soporte (y por tanto de una constante). A mayor $FDIDe$, mayor es también la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.

19. R_{avg} es un indicador equivalente tanto al radio de la circunferencia equivalente rce del área proyectada por la sombra del cayente como al Índice de cayente $DR\%$ de tal forma que cuando mayor sea el R_{avg} menor será el cayente del tejido.
20. A mayor $DDR\%$, menor suavidad y por lo tanto mayor rugosidad presentará el perfil del cayente.
21. rce es equivalente tanto a R_{avg} como al $DR\%$, de tal forma que a mayor rce menor cayente tendrá el tejido y su perfil será más suave.
22. A mayor varianza $FPvar$, mayor será la irregularidad de las dimensiones de los picos y por lo tanto menor será la regularidad de la concetricidad y su simetría.
23. A menor variabilidad de radios VRI , la forma del cayente es más regular y su cayente es mayor.
24. A medida que aumenta $CIRC$, también lo hace en el mismo sentido la suavidad del perfil del cayente y por lo tanto disminuye la rugosidad.
25. Cuando mayor sea MNS , mayor será la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.
26. A menor VS , mayor regularidad de la forma del perfil del cayente en la probeta. Explica la regularidad de los nodos en una misma probeta pero no su forma.
27. A mayor anchura de los nodos FW , el número de éstos disminuye y también lo hace el cayente. La anchura del nodo aumenta al hacerlo tanto la longitud media de los Picos $FaPR$ como la de los Valles $VFaR$.

28. FH es un indicador relacionado con el ángulo entre nodos consecutivos, al aumentar α^0 , también los hace FH . A mayor FH el perfil será menos rugoso y la profundidad de los pliegues menor.
29. $Gp\%$ tiene el mismo comportamiento que $FPVar$. Este indicador explica la variabilidad de la forma de los nodos y su grado de simetría en cada probeta
30. Cuando menor sea dga , el perfil del cayente será más suave y cuando mayor sea también lo será la rugosidad del perfil
31. Cuanto mayor sea $fmax$, menor será el ángulo de cayente del valle y por tanto mayor cayente tendrá el tejido
32. Cuanto menor sea $fmin$, mayor será el ángulo de cayente y por tanto menor cayente tendrá el tejido.
33. A medida que aumenta WA , también lo hace la suavidad del perfil del cayente y por lo tanto disminuye su rugosidad y el número de nodos.
34. A medida que aumenta D/O también lo hace la isotropía geométrica. Tiene un comportamiento similar al VRi , en la medida que a mayor isotropía, menor varianza de radios.
35. A/r presenta un comportamiento similar a dga . A medida que aumenta A/r , también lo hace la rugosidad del perfil del cayente y la profundidad de los pliegues.
36. A medida que aumenta $F\cdot R$, también lo hace la rugosidad del perfil del cayente.
37. A mayor ángulo entre nodos consecutivos, menor rugosidad y profundidad de los pliegues así como menor número de pliegues.
38. A mayor $FDIDe\%$, mayor rugosidad y profundidad de los pliegues

39. A mayor ARR , mayor profundidad de los pliegues.
40. D evoluciona igual que el $DR\%$, a mayor dimensión fractal D , mayor suavidad del perfil del cayente.
41. A menor $DU\%$, mayor isometría geométrica del perfil del cayente.
42. A mayor H , menor rugosidad del perfil del cayente y menor profundidad de los pliegues.
43. A mayor WAM , mayor profundidad de los pliegues.
44. A medida que aumenta H/α , disminuye el ángulo entre nodos consecutivos.
45. A mayor A/P , mayor suavidad del perfil y menor rugosidad.
46. A medida que aumenta FSP , mayor suavidad adquiere el perfil del cayente.
47. Se ha obtenido la ecuación de regresión que relaciona el $DR\%$ con el parámetro "h" del ensayo del anillo en tejidos de pañería. El conocimiento de esta función tiene un gran interés puesto que puede utilizarse a nivel industrial como herramienta para el control rutinario del cayente en los procesos de acabado sin la necesidad de disponer un equipo adicional específico para la determinación del cayente.
48. La formabilidad (F), la rigidez a la flexión (RF), la fuerza máxima de extracción (F_{max}) y el tiempo necesario para alcanzar este punto (DF_{max}) son los parámetros que más contribuyen a la correlación entre el ensayo FAST y el ensayo del anillo-UPC. La relación canónica de estas variables es del 0,95.
49. Las extensibilidades $EU100$ y $ET100$, la distancia desde el inicio del ensayo hasta que la probeta toca el aro (h) y el cociente entre este

valor y el radio del anillo (h/r) presentan una correlación canónica del 0,64.

50. Las correlaciones anteriores explican que el moldeado tridimensional de los tejidos está correlacionado con la mano, y las extensibilidades con el cayente.
51. La curva del cayente es una función continua y derivable. Por ser derivable, no presenta puntas (puntos singulares).
52. Se han establecido unas ecuaciones de regresión entre los principales parámetros FAST (según correlaciones canónicas) y los principales parámetros del ensayo del anillo-UPC (según correlaciones canónicas). La F_{max} y la DF_{max} explican el 95,75% de la variabilidad de la Formabilidad (F); la F_{max} y la DF_{max} explican el 66,79% de la rigidez a la flexión (RF); la h y h/r explican el 28,94 % de la extensibilidad urdimbre al 100 % (EU) y la h y la h/r explican el 23,43% de la extensibilidad por trama al 100 % (ET).
53. Los resultados obtenidos en esta tesis permiten predecir una parte de los parámetros FAST mediante el método de ensayo del anillo-UPC que es más universal, sencillo y económico.
54. Mediante el método de ensayo anillo-UPC desarrollado i descrito en la presente tesis, puede determinarse, una propiedad de la confeccionabilidad tan importante como es la Formabilidad (F) que hasta ahora sólo podía obtenerse mediante el equipo FAST.
55. En cuanto a la relación entre el método de ensayo del anillo-UPC y el Kawabata, se concluye que existen dos variables (con p-valor 0,000) que relacionan, por una parte, los parámetros KES-F (LT, WT, EMT, B, 2HB, F) con parámetros del ensayo del anillo-UPC (F_{max} y DF_{max}), mediante una correlación canónica de 0,97 y ,por otra, los parámetros

KES-F (LT,WT, EMT, B, 2HB) con parámetros del ensayo del anillo-UPC (h y h/r) mediante una correlación canónica de 0,94.

56. Las variables de alargamiento bajo carga axial (EMT y F) (aunque en el cálculo de F también interviene la rigidez de flexión) del KES-F están relacionadas con los parámetros del esfuerzo necesario para extraer la probeta y recorrido (F_{max} y DF_{max}) realizado del método anillo-UPC y por otra parte los parámetros de rigidez a la flexión (B y 2HB) del KES-F están relacionadas con las variables geométricas del anillo-UPC (h y h/r).
57. Se han establecido unas ecuaciones de regresión entre los principales parámetros KES-F (según correlaciones canónicas) y los principales parámetros del ensayo del anillo-UPC (según correlaciones canónicas). La h y DF_{max} explican el 61 % de la variabilidad de la linealidad de la tracción (LT); la F_{max} explica el 47 % de la energía de tracción (WT); la h y DF_{max} explican el 57 % del alargamiento a tensión máxima (EMT), la F_{max} y la h/r explican el 70 % de la rigidez a la flexión (B), la F_{max} y h/r explican el 71 % de la histéresis de la rigidez a la flexión (2HB) y la F_{max} y la DF_{max} explican el 68 % de la Formabilidad.
58. La modificación del ensayo del anillo denominada anillo-UPC, puede ser una alternativa más sencilla, universal y económica a los clásicos sistemas evaluación objetiva de los tejidos (FAST y KES-F).
59. Tal como se ha demostrado por diferentes autores, en esta tesis se constata que existe una relación estadísticamente significativa entre la pérdida de peso del tejido de poliéster 100% acabado con el procedimiento "silk-like", y las variables de proceso estudiadas, con un nivel de confianza del 95,0%. El modelo lineal obtenido explica 86,173% de la variabilidad en pérdida de peso.

60. En cuanto al cayente de los tejidos acabados por este procedimiento, se observa que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguno de los indicadores de cayente seleccionados, si bien, en FN y FH, interactúa significativamente con la concentración de sosa cáustica. La concentración de NaOH sólo afecta a tres indicadores: DR%, FN y DU%.
61. En la mano, se observa que el tiempo de vaporizado no afecta a ninguna de las propiedades FAST, si bien en Be, G y GT100, interactúa de forma significativa con la concentración de sosa cáustica. La concentración de NaOH afecta significativamente a todos los parámetros FAST relacionados con la mano.
62. Se han obtenido las ecuaciones de los modelos de regresión que permiten predecir los indicadores de cayente y mano del tejido a partir de la pérdida de peso del tejido. No obstante dichos modelos sólo explican una parte de la variabilidad compartida con la pérdida de peso (entre el 33 y el 67 %).
63. Tanto el cayente como la mano de los tejidos, son el resultado de la particular interacción entre las características tanto estructurales como físico-mecánicas de sus componentes. De hecho, pueden considerarse como propiedades emergentes y por lo tanto no pueden ser explicadas únicamente por los efectos de un proceso de acabado (en nuestro caso la pérdida de peso).

9.3 Líneas de investigación futuras

1. Con los datos obtenidos en la parte experimental de ésta tesis, analizar las relaciones entre las propiedades físico-mecánicas de los tejidos estudiados en esta tesis, que han sido determinadas mediante los ensayos FAST y KES-F y el cayente de dichos tejidos determinado mediante el drapómetro digital UPC.
2. Aplicar los conocimientos adquiridos en esta tesis en la determinación del cayente de las entretelas.
3. Aplicar los conocimientos adquiridos en esta tesis en la determinación del cayente de los tejidos unidos mediante costuras.
4. Aplicar los conocimientos adquiridos en esta tesis en la determinación del cayente de los tejidos de punto
5. Estudiar la variación del cayente con el tiempo
6. Avanzar en el estudio del cayente dinámico de los tejidos mediante el desarrollo de un equipo específico basado en técnicas de análisis digital de imágenes.

9.4 Publicaciones resultantes de la realización de ésta tesis

Número	Revista	Factor de Impacto	Volumen	Título artículo
1	Journal of Engineered Fibers and Fabrics	1,203	Vol. 9 num 1 2014. pp. 1-10	Correlation Analysis between a Modified ring method and the FAST System
2	Journal of Engineered Fibers and Fabrics	1,203	En proceso de revisión por referees	Correlation analysis between the KES-F and UPC ring methods
3	Textile Research Journal	1,458	En proceso de revisión por referees	Assessment of drape indicators for woven fabrics
4	Fibers and Textiles in Eastern Europe	0,851	En proceso de revisión por referees	Measuring fabric drape with the box-counting method
5	International Journal of Clothing Science and Technology	0,458	En proceso de revisión por referees	Use a modified ring method to predict drape properties of drapery fabrics.
6	AUTEX Research Journal	0,405	En proceso de revisión por referees	Influence of silk-like finishing process variables on fabric properties

Tabla 1-9. Publicaciones de la tesis

Capítulo 10

BIBLIOGRAFIA GENERAL

Capítulo 10

Abbott, N. J. The Measurement of Stiffness in Textile Fabrics. *Textile Research Journal*, 1951, vol. 21, pp. 435-444.

Al-Gaadi, B.; Göktepe, F.; Halász, M. A new method in fabric drape measurement and analysis of the drape formation process. *Textile Research Journal*, 2012, 82 (5): 502-512.

Alley, V.L., McHatton, A.D. Nozzle Extraction Process and Handlemeter for Measuring Handle. *United States Patent 4,103,550*. August 1, 1978.

Allied Vision Technologies. *Guppy F-033B*.

<http://www.alliedvisiontec.com/us/products/cameras/firewire/guppy/f-033bc.html>. Consultado el 14 de mayo de 2013.

Anandjiwala, R. D. *Large Scale Extension of Woven Fabrics*. University of Leeds, 1984.

Artespaña. *Venus Helenística*. Artespaña: <http://www.artespana.com/imagenes/venushelenistica.jpg>. Consultado el 21-04-2010.

Behera, B. K.; Pattanayak, A. K. Measurement and Modelling of Drape using Digital Image Processing. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2008, vol. 33, pp. 230-238.

Breen, D. E.; House, D. H.; Wozny, M. J. A Particle Based-Model for Simulating the Drape Behaviour of Woven Cloth. *Textile Research Journal*, 1994, vol. 64, no. 11, pp. 663-685.

Booth, J. E. *Principles of Textile Testing*. . Heywood book temple press books ed., London, 1964.

Brown, P. R. III; Buchanan, D. R.; Clapp, T. G. Large Deflection Bending of Woven Fabric for Automated Material-Handling. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, pp. 1-14.

Burchett, M.M. *Development of confort measurement matrix*. North Carolina State University. May 12 2007. <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/197>. Consultado el 5 de abril de 2013.

Capdevila, X.; Comas, R.; Parés, F. Evaluación del Cayente de los tejidos: métodos y métrica. *Revista de la Industria Textil*, 2009, vol. 471, pp. 31-44.

- Chen, B. J.; Govindaraj, M. A Physically-Based Model of Fabric Drape using Flexible Shell Theory. *Textile Research Journal*, 1995, vol. 65, no. 6, pp. 324-330.
- Chen, B.; Govindaraj, M. A Parametric Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, no. 1, pp. 17-24.
- China Radio International. *Crienglish.Com*. China Radio Internarional. 2010. <http://english.cri.cn/3126/2007/04/02/1042@211825.htm>. Consultado el 21-04-2010.
- Chu, C. C.; Cummings, C. L.; Teixeira, N. A. Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Part V: A Study of the Factors Affecting the Drape of Fabrics. The Development of a Drape Meter. *Textile Research Journal*, 1950, vol. 20, pp. 539-548.
- Chu, C. C., Milton, M. P., Hamburger, W. J. Investigation of the Factors Affecting the Drapeability of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1960, vol. 20, pp. 66-67.
- Clapp, T. G., Peng, H.; Ghosh, T.K.; Eischen, J.W. Indirect Measurement of the Moment-Curvature Relationship for Fabrics. *Textile Research Journal*, 1990, vol. 60, no. 9, pp. 525-533.
- Collier, J. R., Collier, B.; O'Toole, G.; Sargand, S. Drape Prediction using Finite Element Analysis. *Journal of Textile Institute*, 1991, vol. 82, pp. 96-107.
- Collier BJ. Measurement of fabric drape and its relation to fabric mechanical properties and subjective evaluation. *CTRJ*. 1991; 10(1): 46-52.
- Cooper, D. N. E. The Stiffness of Woven Textiles. *Journal of Textile Institute*, 1960, vol. 51, no. 8, pp. 317-335.
- Cusick, G. E. The Resistance of Fabrics to Shearing Forces. *Journal of Textile Institute*, 1961, vol. 52, pp. 395-406.
- Cusick, G. E. *A Study of Fabric Drape*. University of Manchester. Tesis Doctoral, 1962.
- Cusick, G. E. The Dependence of Fabric Drape on Bending and Shear Stiffness. *Journal of the Textile Institute*, 1965, vol. 56, no. 11, pp. 596-606.
- Cusick, G. E. The Measurement of Fabric Drape. *Journal of the Textile Institute*, 1968, vol. 59, no. 6, pp. 253-260.

Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Correlation Analysis between a Modified Ring Method and de FAST System. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Vol 9 (1), 2014. (en prensa).

Carrera-Gallissà, E., Capdevila, X., Valdeperas, J. Assessment of drape indicators for woven fabrics. *Textile Research Journal* (en prensa).

Daukantiene, V., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Simulation and Application of the Behaviour of the Textile Fabric while Pulling through a Round Hole. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol 11, no 2 (41), 2003, pp.37-41.

Dave, J.; Kumar, R.; Srivastava, H. C. Studies on Modification of Polyester Fabrics I: Alkalyne Hydrolysis. *Journal Applied Polymer Science*, 1987, vol. 33, no. 2, pp. 445-477.

De Boos, A. G. Optimisation of Wool Fabric Finishing using FAST. *Colourage*, 1993, vol. 40, no. 1, pp. 41-47.

De Boss A., Tester, D.H. A system for fabric objective measurement and its application in fabric and garment manufacture. *CSIRO Report No. WT92.02*. Australia, 1994. 35 p.

Dent, R.W., Oatfield, J.C., Mayes, R.T. Fabric Characterising Apparatus. *U.S. Patent 3,613,445*. 1971.

Dillon, W.R.; Goldstein, M. *Multivariate Analysis: Methods and Applications*. 1984, Wiley. New York.

Disney. *Disney Home Page*. 2010. <http://home.disney.es/index>. Consultado el 21-04-2010.

E-dyer. <http://www.e-dyer.com> Consultada el 6 de abril de 2013

Ellis, B. C., Garnsworthy, R. K. A Review of Techniques for the Assessment of Hand. *Textile Research Journal* 4 1980: pp. 231 – 238

Fisher, P., Krzywinski,H.; Rodel, A.S.; Ulbright, V.. Simulating the Drape Behavior of Fabrics. *Textile Research Journal*, 1999, vol. 69, no. 5, pp. 331-334.

Gacén, J. *Fibras De Poliéster*. 2ª ed. Universitat Politècnica de Catalunya, 1991. ISBN 84-7653-080-3.

- Gan, L.; Ly, N. G.; Steven, G. P. A Study of Fabric Deformation using Nonlinear Finite-Elements. *Textile Research Journal*, 1995, vol. 65, no. 11, pp. 660-668.
- Ghosh, T. K.; Bartra, S. K.; Barker, R. L. Bending Behaviour of Plain Woven Fabrics: A Critical Review. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, pp. 245-287.
- Go, Y.; Shinohara, A.; Matsushashi, F. Viscoelastic Studies of Textile Fabrics. Part 6: Anisotropy of the Stiffness of Textile Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1958, vol. 14, pp. 170-174.
- Go, Y.; Shinohara, A. Anisotropy of the Crease Recovery of Textile Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1962, vol. 8, pp. 33-38.
- Grineviciute, D., Gutauskas, M The Comparison of Methods for the Evaluation of Woven Fabric Hand. *Materials Science*, Vol.10, No.1, 2004, pp.97-100.
- Grineviciute, D., Daukantienè, V., Gutauskas, M. Textile Hand: Comparison of Two Evaluation Methods. *Materials Science*, Vol. 11, No. 1, 2005, pp. 57-63.
- Grosberg, P.; Kedia, S. The Mechanical Properties of Woven Fabrics. Part 1: The Inital Load-Extention Modulus of Woven Fabrics. *Textile Research Journal*, 1966, vol. 38, pp. 71-79.
- Grover, G., Sultan, M.A., Spivak, S.M. A screen technique for fabric handle. *Journal of Textile Institute*, 84 (3). 1993, pp.1-9.
- Hasani, H., Planck, H. Analysis of the Physical Fundamentals of an Objective Integral Measuring System for the Determination of the Handle of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 6, 2009, pp.70-75.
- Hasani, H. Novel Method to Evaluate the Low-Stress Shearing Behaviour of Knitted Fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No. 2, 2010, pp.70-72.
- Hassan, M. *Computer-based System for Evaluation and Recognition of the Structural and Surface Characteristics of Fabrics*. Ph.D.Thesis. Al Mansoura University. Egypt. 2004.
- Hearle, J. W. S.; Grosberg, P.; Backer, S. *Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics*. . Wiley Interscience ed., New York: Wiley Interscience, 1969.

Hearle, J. W. S.; Konopasek, M.; Newton, A. On some General Features of a Computer-Based System for Calculation of the Mechanics of Textiles Structures. *Textile Research Journal*, 1972, vol. 10, pp. 613-626.

Hearle, J. W. S.; Shanahan, W. J. A Energy Method for Calculations in Fabric Mechanics. Part 1: Principles of the Method. *Journal of Textile Institute*, 1978, vol. 69, pp. 81-91.

Hearle, J. W. S.; Thwaites, J. J.; Amirbayat, J. *Mechanics of Flexible Fiber Assemblies*. NATO Advanced Study Institute Series: E, Applied Sciences. N° 38 ed. The Netherlands: Sijthoff & Noordhoff, Alpen aan den Rijn, 1980.

Hearle, J. W. S.; Amirbayat, J. Anyalysis of Drape by Means of Dimensionless Groups. *Textile Research Journal*, 1986, vol. 56, no. 12, pp. 727-733.

Henrich, L., Seidel, A., Reider, O. Griffprüfung au Maschenwaren. *Maschen Industrie*, 7, 1999, p.46-47.

Hu, J. L. *Structure and Low-Stress Mechanics of Woven Fabrics*. The Textile Institute. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 1994.

Hu, J. L.; Teng, J. G. Computational Fabric Mechanics: Present Status and Future Trends. *Finite Elements in Analysis and Design*, 1996, vol. 21, pp. 225-237.

Institute of draped clothes. *JDC Web Library*. Institute of draped clothes. 2010. <http://www.idcw.org.uk/weblibrary.html>. Consultado el 21-04-2010.

Jeong, Y. J. A Study of Fabric-Drape Behaviour with Image Analysis Part I: Measurement, Characterisation, and Instability. *Journal of the Textile Institute*, 1998, vol. 89, no. 1, pp. 59-69.

Jevsnik, S. Gersak, J. Modelling the Fused Panel for a Numeric Simulation of Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2004, vol. 12, pp. 47.

Jevsnik, S., Zunic-Lojen, D. Drape Behaviour of Seamed Fabrics. *Fibers and Polymers*, 2007, vol. 8, no. 5, pp. 550-557.

Juodsnukyte, D., Gutauskas, M, Krauledas, S. Influence of Fabric Softeners on Performance Stability of Textile Materials. *Materials Science*. Vol. 11, No. 2, 2005, pp.179-182.

Kalyanaraman, A. R.; Siveramakrishnan, A. Electronic Fabrics Stiffness Meter Performance Evaluation with the Know Instruments. *Textile Research Journal*, 1984, vol. 54, no. 7, pp. 479-484.

Kawabata, S. *Standardization and Analysis of Hand Evaluation*. . The Textile Machinery Society of Japan ed., 2nd ed. Osaka: The Textile Machinery Society of Japan, 1980.

Kawabata, S. Professor.

<http://www.mat.usp.ac.jp/polymercomposite/kawabataE.html> consultado el 30-10.20103

Kenkare, N.; May-Plumlee, T. Evaluation of Drape Characteristics in Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2005a, vol. 17, no. 2, pp. 109-123.

Kenkare, N.; May-Plumlee, T. Fabric Drape Measurement: A Modified Method using Digital Image Processing. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 2005b, vol. 4, no. 3, pp. 141-148.

Kenkare, N. *Three Dimensional Modeling of Garment Drape*. North Carolina State University, 2005. <http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-01062006-153144/unrestricted/etd.pdf>. Consultado el 26-04-2010

Kim, J. H. *Fabric Mechanic Analysis using Large Deformation Orthotropic Shell Theory*. North Carolina State University, 1991.

Kim, J., Slaten, B.L. Objective Assessment of Fabric Handle in Fabric Treated with Flame Retardants. *Journal of Testing and Evaluation*, 24, 1999, pp. 223-228.

Killinc, F.S. *A Study of the Nature of Fabric Comfort: Design-oriented Fabric Comfort Model*. Ph.D.Thesis. Auburn University. USA. 2004.

Konopasek, M. *Procedures for Calculating the Mechanical Properties of Textile Structures*. University of Manchester. Institute of Science and Technology, 1972.

Kuzima, J.; Tamás, P.; Halász, M. *Image-Based Cloth Capture and Cloth Simulation used for Estimating Cloth Drape Parameters*. Portoroz, Slovenia ed., 2005. ISBN 86-435-0709-1.

Lo, W. M.; Hu, J. L.; Li, L. K. Modelling a Fabric Drape Profile. *Textile Research Journal*, 2002, vol. 72, no. 5, pp. 454-463.

Lojen, D. Z.; Jevsnik, S. Some Aspects of Fabric Drape. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2007, vol. 15, no. 4, pp. 39-45.

Leech, C. M.; Abood, S. M. *Modelling of the Dynamics of Woven Constructions*. New York ed. ASME, 1991.

Lloyd, D. W.; Hearle, J. W. S.; Thwaites, J. J.; Amirbayat, J. eds., *Mechanics of Flexible Fiber Assemblies*. NATO Sciences Series E. Springer, 1980. ISBN-10: 902860720X.

Martisiutè, G., Gutauskas, M. A new approach to evaluation of fabric handle. *Materials Science*. Vol. 7 No 3, 2001, pp.186-190.

Matthews, J.W.A. *The introduction of objective measurement into the Australian wool textile and clothing industries*, in: *Objective Measurement: Applications to Product Design and Process Control*. Kawabata, S., Postle, R., Niva, M (editors). 1985. Textile Machinery Society of Japan

May-Plumlee, T., Eischen, J. Kenkare, N.S., and P. Pandurangan. (2003). "Evaluating 3D Drape Simulations: Methods and Metrics", in *Proceedings of International Textile Design and Engineering Conference (INTEDEC)*, Edinburgh, Scotland, September 22–24, 2003.

Minazio, G. FAST, Fabric Assurance by Simple Testing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, vol.7, no. 2-3. 43-48.

Mizutani, C.; Amano, T.; Sakaguchi, Y. A New Apparatus for the Study of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 2005, vol. 75, no. 1, pp. 81-87.

Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part I: Fundamental aspects of fibre friction and lubrication. *Int. Nonwoven*, J. 6 (4), 1995a, pp. 35-42.

Mogahzy, Y.E., Broughton, R., Wang, Q. The friction profile of cotton fibers and its importance in determining fiber performance in the nonwoven process. Part II: Experimental observations. *Int. Nonwoven J.* 7(1), 1995b, pp. 26-33.

Mogahzy, Y.E., Kilinc, F.S., Hassan, H. Developments in measurement and evaluation of fabric hand. Pp 45-65. In: "Behery H.M. *Effect of mechanical and physical properties on fabric hand*". Woodhead publishing in textiles. Cambridge 2005.

Naik, A.; Carrera, E. *Medición Objetiva De Tejidos*. . A.N & E.C. ed., Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1996. ISBN 84-605-4953-4.

NF. G07-109, 1980. Textiles. Essais des étoffes. Méthode de détermination du drapé d'un tissu ou d'un tricot.

Nu Cybertek Inc. <http://www.nucybertek.com> consultada el 20 de agosto de 2012.

Pan,N., Yen, K.C., Zhao, S.J., Yang, S.R. A new approach to the objective evaluation of fabric hand from mechanical properties. Part II: Objective measure for total handle. *Textile Research Journal*, 58. 1988, pp. 438-444.

Pan, N., Zeronian, S.H., Ryu, H.S. An alternative approach to the objective measurement of fabrics. *Textile Research Journal*, 63, 1993, pp.33-43.

Pan, N. Quantification and evaluation of human tactile sense towards fabrics. *International Journal of Design & Nature*, Vol. 1, No.1, 2007, pp. 48-60

Pandurangan, P. *Mechanics of Fabric Drape*. Master of Science ed. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. North Carolina State University., 2003.

Park,C.K., Kim, S., Yu, W.R. Quantitative Fabric Drape Evaluation System Using Image Processing Technology (Part 1: Measurement System and Geometric Model). *Journal of Testing Evaluation*, 2004, Vol 32 (2), pp- 131-137.

Payvandy, P., Yousefzadeh-Chimeh Lafiti, M. A note on neurofractal-based defect recognition and classification in nonwoven web images. *The Journal of The Textile Institute*. Vol. 101, No.1. January 2010:46-51.

Payvandy, P. *Evaluation of Fabric Drape Using Image Processing and Fractal Dimension*. MVIP, 2011. The 7th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing. Iran University of Science and Technology. 16-17 november 2011.

Pierce, F. T. The Handle of Cloth as a Measurable Quantity. *Journal of the Textile Institute*, 1930, vol. 21, pp. 377-419.

Pierce, F. T. Geometry of Cloth Structure. *Journal of Textile Institute*, 1937, vol. 28.

Postle, R.; Carnby, G. A.; Jong, S. *The Mechanics of Wool Structures*. United Kingdom: Ellis Horwood Ltd, 1988. ISBN 146132.

Postle, J. R. The Mechanics of Woven and Knitted Fabric. *Textile Asia*, 1998, vol. 29, no. 8, pp. 35-36.

Postle, J. R.; Postle, R. The Dynamics of Fabric Drape. *Textile Research Journal*, 1999, vol. 69, no. 9, pp. 623-629.

Robson, D.; Long, C. C. Drape Analysis using Image Techniques. *Clothing and Textiles Research Journal*, 2000, vol. 18, no. 1, pp. 1-8.

Ruckman, J. E.; Cheng, K. B.; Murray, R. Dynamic Drape Measuring System. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1998, vol. 10, no. 6, pp. 56.

Rusell, S. J. Alternative Instrument for the Measurement of Fabric Bending Length, (Univ. of Leeds); (Letter to Editor). *Journal of Textile Institute*, 1994, vol. 85, no. 1, pp. 82-83.

Sanad, R., Cassidy, T., Cheung, V., Evans, E. Fabric and Garment Drape Measurement –Part 2. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 2013, 6(1):1-22.

Seidel, A. Griffgewertung von Strumpfwaren mit dem ITV-Griff-Tester. *Melliand Textilberichte*, 6, 2001, p.491-494.

Shanahan, W. J.; Hearle, J. W. S. A Energy Method for Calculations in Fabric Mechanisc. Part 2: Examples of Application of the Method Tho Woven Fabrics. *Journal of Textile Institute*, 1978, vol. 69, pp. 92-100.

Sharma, K.S., Behera,B.K., Roedel,H., Schenk, A. Effect of sewing and fusing of interlining on drape behaviour of suiting fabrics. *Internatinal Journal of Clothing Science and Technology*. Vol 17 (2), 2005, pp:75-90.

Shinohara, H, A.; Shinohara, F.; Sakaebara, K. Theoretical Studty on Anisotropy of Bending Rigidity of Woven Fabrics. *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 1980, vol. 26, pp. 75-79.

Sidabraite, V.; Masteikaite, V. Effect of Woven Fabric Anisotropy on Drape Behaviour. *Materials Science*, 2003, vol. 9, no. 1, pp. 111-115.

Soliman, H.A., Sultan, M.A., Sheta, A.M. *The Bulletin of Faculty of Engineering*. 23: 115. 1984. Alexandria University.

- Strazdiene, E., Martisiutė, G., Gutauskas, M., Papreckiene, L. Textile Hand: A New Method for Textile Objective Evaluation. *Journal of The Textile Institute*, 94, Part 1, No. 3-4, 2003, pp.245-255.
- Strazdiene, E., Gutauskas, M. New Method for the Objective Evaluation of Textile Hand. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol. 13 No. 2, 2005, pp. 35-38.
- Strazdiene, E., Ben Saïd, S., Gutauskas, M., Schacher, L., Adolphe, D.C. The evaluation of fabric treatment by Griff tester and sensory analysis. *International Journal of Clothing Science and Technology*. Vol. 18, No. 5, 2006, pp. 326-334.
- Stump, D. M.; Fraser, W. B. A Simplified Model of Fabric Drape Based on Ring Theory. *Textile Research Journal*, 1996, vol. 66, no. 8, pp. 506-514.
- Stylios, G.; Wan, T. R. Modelling the Dynamic Drape of Fabrics on Synthetic Humans: A Physical, Lumped-Parameter Model. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1995, vol. 7, no. 5, pp. 10-25.
- Stylios, G. K., Zhu, R. The Characterisation of the Static and Dynamic Drape of Fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 1997, vol. 88, no. 4, pp. 465-475.
- Stylios, G.; Wan, T. R. A New Collision Detection Algorithm for Garment Animation. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1998, vol. 10, no. 1, pp. 38-49.
- Sultan, M. Sheta, A. Predicting fabric hand acceptance for a specific end-use. *Textile Information Bulletin*, 36 (4). 1994.
- Sun, M. N. A New Tester and Method for Measuring Fabric Stiffness and Drape. *Textile Research Journal*, 2008, vol. 78, no. 9, pp. 761-770.
- Tamás, P.; Gersak, J.; Halász, M. Sylvie 3D Drape Tester. New System for Measuring Fabric Drape. *TEKSTIL*, 2006, vol. 10, pp. 497-502. ISSN 0492-5882.
- TM & Lucasfilm Ltd. *Star Wars Home Page*. TM & Lucasfilm Ltd. 2010. <http://www.starwars.com/>. Consultado el 21-04-2010.
- Truncyte, D., Papreckiene, L., Gutauskas, M. Behaviour of Textile Membranes while Being Pulling Through a Hole by the Constrained Method. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, Vol. 15, No, 1, 2007, pp.50-54.

Capítulo 10

Thwing-Albert Instrument Company. Clupak Fabricometer. Philadelphia, P.A. Trade literature. 1970.

Thwing-Albert Instrument Company. Información técnica del Handle-O-Meter. <http://www.thwingalbert.com/handle-o-meter.html>. Consultada el 22 de agosto de 2012.

UAM. "Procesamiento digital de señal. Análisis de Fourier en tiempo continuo". <http://arantxa.ii.uam.es/~taao1/teoria/tema4/tema4.pdf>. Consultado el 21 de mayo de 2013.

Van West, R. B.; Pipesl, R. B.; Keefe, M. A Simulation of the Draping of Bidirectional Fabrics Over Arbitrary Surfaces. *Journal of Textile Institute*, 1990, vol. 81, no. 4, pp. 448-460.

Vangheluwe, L.; Kiejens, P. Time Dependence of the Drape Coefficient of Fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1993, vol. 5, no. 5, pp. 5-8.

Wang, H., Mahar, T.J., Hall, R. (2012). Prediction of the handle characteristics of lightweight next-to-skin knitted fabrics using a fabric extraction technique. *The Journal of The Textile Institute*, Vol.13, No.7, 2012), pp.691-697.

Weekly times now. "Ancient luxury test returns". http://www.weeklytimesnow.com.au/article/2010/11/02/251051_wool.html. Consultado el 5 de abril de 2013.

Weil, J. The Synthesis of Cloth Objects. *ACT SIGGRAPH Computer Graphics*, 1986, vol. 20, no. 4, pp. 49-54. ISSN 0097-8930.

Wikipedia. *Auriga De Delfos*. Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Auriga_de_delfos. Consultado el 21-04-2010

WordPress Blog. *Enigmas Históricos. Las Endemoniadas De Loudun*. Blog de WordPress.com. <http://oscarherradon.wordpress.com/2009/06/16/>. Consultado el 21-04-2010

Zeronian, S. H.; Collins, M. J. Surface Modification of Polyester by Alkaline Treatments. *Textile Progress*, 1989, vol. 20, no. 2, pp. 1-34. ISSN 1870 812 2 55.

ANEXO 1**Programa MATLAB para el cálculo del Weave amplitude (WA)**

```
function wa = waveamplitude(d,perimetro)

% Total datos

[totDat numCol] = size(d);

% Constante de conversión a cm

kCm = (2*pi*perimetro/totDat);

for k=1:numCol

    % FFT de los datos

    tfd = abs(fftshift(fft(d(:,k))));

    % Máximo central

    [mx p]=max(tfd);

    % Máximo central a cero

    tfd(p) = 0;

    % Nueva curva desde el máximo central

    tfd = tfd(p:end);

    % Frecuencia principal (máximo)

    [mx p]=max(tfd);

    wa(1,k) = kCm*totDat/(p-1);

end
```

ANEXO 2

Programa MATLAB “Proceso3” para el cálculo del Fitness Factor D/O

El “proceso3” requiere 3 parámetros, archivo, tamaño de la ventana y si se detiene o no (0 no, 1 si). Ejemplo [dof, res]=proceso3('PB1 T1XX.csv',12, 0 ó 1)

```
% Leer y preparar datos

% Leemos archivo, cada columna separada por ';' corresponde a un
perímetro

% a evaluar

d=dlmread(archivo, ';');

% El último campo es el perímetro en [unidades]

P=d(end, :);

% cantidad de datos:

x = 0:0.5:360;

% Quitamos el perimetro y repetimos los dos primeros datos

d(end:end+1, :)=d(1:2, :);

% Ancho en el que se analiza un máximo

%tv = 12;

% Modificación de los datos a analizar

dpf = [d(end-(tv-1):end, :); d; d(1:tv, :)];

% Calculamos la derivada

for k=tv+1:length(dpf)-tv

    dd(k-tv, :)=dpf(k+tv, :)-dpf(k-tv, :);

end
```

```
% Preparamos documento final
dfile = [];

% Para cada columna de datos
for k=1:size(d,2)

    % Encontramos los máximos

    pos = find(diff(sign([dd(:,k); dd(1,k)]))<0);

    res(k).posMax = pos';

    fmax = [d(pos,k); d(pos(1),k)];

    Xmax = [x(pos) x(pos(1))+360];

    % Encontramos los mínimos

    pos = find(diff(-sign([dd(:,k); dd(1,k)]))<0);

    res(k).posMin = pos';

    % TFF

    tfd = fftshift(fft(d(:,k)));

    tfda = abs(tfd);

    % El máximo y la dominante

    [mx pmx]= max(tfda);

    tfda(pmx)=0;

    [mx pmd1]= max(tfda);

    tfda(pmd1)=0;

    [mx pmd2]= max(tfda);

    % Recuperariamos la dominante original

    tfdd = zeros(721,1);

    tfdd([pmx pmd1 pmd2])=tfd([pmx pmd1 pmd2]);

    ddom = abs(ifft(tfdd));
```

ANEXOS

```
% Fitness Factor

% Área trigonométrica

mxdd = max(ddom);

mndd = min(ddom);

mxd = mean(d(res(k).posMax,k));

mnd = mean(d(res(k).posMin,k));

aread=pi*((mxd+mnd)/2).^2+(((mxd-mnd)/2).^2)/2);

areadd=pi*((mxdd+mndd)/2).^2+(((mxdd-mndd)/2).^2)/2);

dof(1,k) = areadd/aread;

dfile = [dfile d(:,k) ddom];

if sipause

    plot(x,ddom,'--k',x,d(:,k),'k');

    set(gca,'XTick',0:20:360);

    set(gca,'XTickLabel',0:20:360);

    axis([0 360 min(d(:,k))*0.9 max(d(:,k))*1.1]);

    % set(gca,'XTickLabel',{'-pi','-pi/2','0','pi/2','pi'})

    xlabel('Angle [°]');

    ylabel('Radius [mm]');

    pause

end

end

s = regexp(archivo, '\.', 'split');

xlswrite(sprintf('%sDom.xls',s{1}), dfile);
```

ANEXO 3**Programa MATLAB “Fractal” para el cálculo de la dimensión fractal Box-Counting**

```
function [p]=fractal(archivo)

% Leer y preparar datos

% Leemos archivo, cada columna separada por ';' corresponde a un
perímetro

% a evaluar

d=dlmread(archivo, ';');

% El último campo es el perímetro en [unidades]

P=d(end, :);

% cantidad de datos:

x = 0:0.5:360;

% Quitamos el perimetro y repetimos los dos primeros datos

d(end:end+1, :)=d(end-2:end-1, :);

[x y]=meshgrid(1:400,1:400);

x0 = 200;

y0 = 200;

radio = sqrt((x-x0).^2+(y-y0).^2);

teta = fix(2*(atan2((y-y0),(x-x0))*180/pi+180));

% Preparamos documento final

dfile = [];

% Para cada columna de datos
```

ANEXOS

```
for kdatos=1:size(d,2)

    ib = zeros(400,400);

    for k=0:720,
        ib = ib + double( (radio<d(k+1,kdatos)) & (teta==k) );
    end

    ib = ib>0;

    [n r]=boxcount(ib);

    x = log(1./r);

    y = log(n);

    recta = polyfit(x,y,1);

    fprintf('%.7f, ', recta(1) );

    p(1,kdatos) = recta(1);

    dfile =[dfile [x'; recta(1)] [y'; recta(2)]];

end

fprintf('\n');

s = regexp(archivo, '\.', 'split');

dlmwrite(sprintf('%sFrac.txt',s{1}), dfile, 'delimiter', ';',
...
        'precision', 8);
```

Parte Box-Count

```
function [n,r] = boxcount(c,varargin)

%BOXCOUNT Box-Counting of a D-dimensional array (with D=1,2,3).

% [N, R] = BOXCOUNT(C), where C is a D-dimensional array (with
D=1,2,3),

% counts the number N of D-dimensional boxes of size R needed
to cover

% the nonzero elements of C. The box sizes are powers of two,
i.e.,

% R = 1, 2, 4 ... 2^P, where P is the smallest integer such
that

% MAX(SIZE(C)) <= 2^P. If the sizes of C over each dimension
are smaller

% than 2^P, C is padded with zeros to size 2^P over each
dimension (e.g.,

% a 320-by-200 image is padded to 512-by-512). The output
vectors N and R

% are of size P+1. For a RGB color image (m-by-n-by-3 array),
a summation

% over the 3 RGB planes is done first.

%

% The Box-counting method is useful to determine fractal
properties of a

% 1D segment, a 2D image or a 3D array. If C is a fractal set,
with

% fractal dimension  $DF < D$ , then N scales as  $R^{(-DF)}$ . DF is
known as the

% Minkowski-Bouligand dimension, or Kolmogorov capacity, or
Kolmogorov

% dimension, or simply box-counting dimension.

%
```

ANEXOS

```
%     BOXCOUNT(C,'plot') also shows the log-log plot of N as a
function of R

%     (if no output argument, this option is selected by default).

%

%     BOXCOUNT(C,'slope') also shows the semi-log plot of the
local slope

%     DF = - dlnN/dlnR as a function of R. If DF is constant in a
certain

%     range of R, then DF is the fractal dimension of the set C.
The

%     derivative is computed as a 2nd order finite difference (see
GRADIENT).

%

%     The execution time depends on the sizes of C. It is fastest
for powers

%     of two over each dimension.

%

%     Examples:

%

%           % Plots the box-count of a vector containing randomly-
distributed

%           % 0 and 1. This set is not fractal: one has  $N = R^{-2}$  at
large R,

%           % and  $N = \text{cste}$  at small R.

%           c = (rand(1,2048)<0.2);

%           boxcount(c);

%

%           % Plots the box-count and the fractal dimension of a 2D
fractal set
```

```
%      % of size 512^2 (obtained by RANDCANTOR), with fractal
dimension

%      % DF = 2 + log(P) / log(2) = 1.68 (with P=0.8).

%      c = randcantor(0.8, 512, 2);

%      boxcount(c);

%      figure, boxcount(c, 'slope');

%

%      F. Moisy

%      Revision: 2.10, Date: 2008/07/09

% History:

% 2006/11/22: v2.00, joined into a single file boxcountn
(n=1,2,3).

% 2008/07/09: v2.10, minor improvements

% control input argument
error(nargchk(1,2,nargin));

% check for true color image (m-by-n-by-3 array)
if ndims(c)==3
    if size(c,3)==3 && size(c,1)>=8 && size(c,2)>=8
        c = sum(c,3);
    end
end

warning off
```

ANEXOS

```
c = logical(squeeze(c));  
  
warning on  
  
dim = ndims(c); % dim is 2 for a vector or a matrix, 3 for a  
cube  
  
if dim>3  
    error('Maximum dimension is 3.');
```



```
end  
  
% transpose the vector to a 1-by-n vector  
if length(c)==numel(c)  
    dim=1;  
    if size(c,1)~=1  
        c = c';  
    end  
end  
  
end  
  
width = max(size(c)); % largest size of the box  
p = log(width)/log(2); % nbre of generations  
  
% remap the array if the sizes are not all equal,  
% or if they are not power of two  
% (this slows down the computation!)  
if p~=round(p) || any(size(c)~=width)  
    p = ceil(p);
```

```

width = 2^p;
switch dim
    case 1
        mz = zeros(1,width);
        mz(1:length(c)) = c;
        c = mz;
    case 2
        mz = zeros(width, width);
        mz(1:size(c,1), 1:size(c,2)) = c;
        c = mz;
    case 3
        mz = zeros(width, width, width);
        mz(1:size(c,1), 1:size(c,2), 1:size(c,3)) = c;
        c = mz;
end
end

n=zeros(1,p+1); % pre-allocate the number of box of size r

switch dim

    case 1          %----- 1D boxcount -----
    -----%

        n(p+1) = sum(c);

```

ANEXOS

```

    for g=(p-1):-1:0
        siz = 2^(p-g);
        siz2 = round(siz/2);
        for i=1:siz:(width-siz+1)
            c(i) = ( c(i) || c(i+siz2));
        end
        n(g+1) = sum(c(1:siz:(width-siz+1)));
    end

case 2          %----- 2D boxcount -----
-----%

    n(p+1) = sum(c(:));
    for g=(p-1):-1:0
        siz = 2^(p-g);
        siz2 = round(siz/2);
        for i=1:siz:(width-siz+1)
            for j=1:siz:(width-siz+1)
                c(i,j) = ( c(i,j) || c(i+siz2,j) ||
c(i,j+siz2) || c(i+siz2,j+siz2) );
            end
        end
        n(g+1) = sum(sum(c(1:siz:(width-siz+1),1:siz:(width-
siz+1))));
    end

```

```

case 3          %----- 3D boxcount -----
-----%

n(p+1) = sum(c(:));

for g=(p-1):-1:0
    siz = 2^(p-g);
    siz2 = round(siz/2);
    for i=1:siz:(width-siz+1),
        for j=1:siz:(width-siz+1),
            for k=1:siz:(width-siz+1),
                c(i,j,k)=( c(i,j,k) || c(i+siz2,j,k) ||
c(i,j+siz2,k) ...
                ||      c(i+siz2,j+siz2,k)      ||
c(i,j,k+siz2) || c(i+siz2,j,k+siz2) ...
                ||      c(i,j+siz2,k+siz2)      ||
c(i+siz2,j+siz2,k+siz2));
            end
        end
    end

    n(g+1) = sum(sum(sum(c(1:siz:(width-
siz+1),1:siz:(width-siz+1),1:siz:(width-siz+1)))));

end

end

n = n(end:-1:1);

r = 2.^(0:p); % box size (1, 2, 4, 8...)

```

ANEXOS

```
if any(strncmpi(varargin,'slope',1))
    s=-gradient(log(n))./gradient(log(r));
    semilogx(r, s, 's-');
    ylim([0 dim]);
    xlabel('r, box size'); ylabel('- d ln n / d ln r, local
dimension');
    title([num2str(dim) 'D box-count']);
elseif nargin==0 || any(strncmpi(varargin,'plot',1))
    loglog(r,n,'s-');
    xlabel('r, box size'); ylabel('n(r), number of boxes');
    title([num2str(dim) 'D box-count']);
end
if nargin==0
    clear r n
end
```

Anexo 4**Programa MATLAB “Proceso2” para el cálculo de Mean Node Severity
(MNS) = Cm y Variability Severity (VS) = Cs**

```
function [Cm, Cs, res]=proceso2(archivo,tv)

% Leer y preparar datos

% Leemos archivo, cada columna separada por ';' corresponde a un
perímetro

% a evaluar

d=dlmread(archivo, ';');

% El último campo es el perímetro en [unidades]

P=d(end,:);

% cantidad de datos:

x = 0:0.5:360;

% Quitamos el perímetro y repetimos los dos primeros datos

d(end:end+1,:)=d(1:2,:);

% Ancho en el que se analiza un máximo

%tv = 12;

% Modificación de los datos a analizar

dpf = [d(end-(tv-1):end,:); d; d(1:tv,:)];

% Calculamos la derivada

for k=tv+1:length(dpf)-tv

    dd(k-tv,:)=dpf(k+tv,:)-dpf(k-tv,:);
```

ANEXOS

```
end

% Para cada columna de datos
for k=1:size(d,2)

    % Encontramos los máximos

    pos = find(diff(sign([dd(:,k); dd(1,k)]))<0);

    res(k).pos = pos';

    fmax = [d(pos,k); d(pos(1),k)];

    Xmax = [x(pos) x(pos(1))+360];

    % Encontramos los mínimos

    pos = find(diff(-sign([dd(:,k); dd(1,k)]))<0);

    res(k).pos = pos';

    fmin = [d(pos,k); d(pos(1),k)];

    Xmin = [x(pos) x(pos(1))+360];

    % Siempre debe ser menor la posición del primer máximo que
    la del

    % primer mínimo

    if( Xmin(1) < Xmax(1) )

        Xmin = [Xmin(2:end) Xmin(2)+360];

        fmin = [fmin(2:end,:); fmin(2,:)];

    end

    for j=1:length(fmax)-1
```

```
        res(k).C(j)=(fmax(j)-fmin(j))/(2*(Xmin(j)-  
Xmax(j))*P(k)/720);  
  
    end  
  
    Cm(k)=mean(res(k).C);  
  
    Cs(k)=std(res(k).C);  
  
end
```

ANEXO 5

Programa MATLAB PROCESO para el cálculo de Cm, Cs y res

```
function [Cm, Cs, res]=proceso(archivo,tv)

% Leer y preparar datos

% Leemos archivo, cada columna separada por ';' corresponde a un
perímetro

% a evaluar

d=dlmread(archivo, ';');

% El último campo es el perímetro en [unidades]

P=d(end, :);

% cantidad de datos:

x = 0:0.5:360;

% Quitamos el perimetro y repetimos los dos primeros datos

d(end:end+1, :)=d(1:2, :);

% Ancho en el que se analiza un máximo

%tv = 15;

% Modificación de los datos a analizar

dpf = [d(end-(tv-1):end, :); d; d(1:tv, :)];

% Calculamos la derivada

for k=tv+1:length(dpf)-tv

    dd(k-tv, :)=dpf(k+tv, :)-dpf(k-tv, :);

end

% Para cada columna de datos
```

```
for k=1:size(d,2)
    % Encontramos los máximos
    pos = find(diff(sign([dd(:,k); dd(1,k)]))<0);
    res(k).pos = pos';

    f = [d(pos,k); d(pos(1),k)];
    X = [x(pos) x(pos(1))+360];

    for j=1:length(f)-1
        res(k).C(j)=f(j)/((X(j+1)-X(j))*P(k)/720);
    end
    Cm(k)=mean(res(k).C);
    Cs(k)=std(res(k).C);
end
```