

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE VALENCIA**

Departamento de Ingeniería Textil y Papelera

Técnicas Estadísticas para el control y la
mejora de la calidad en el sector Textil:
aplicación en la manta y la napa
termofusionada

Memoria presentada por PAU MIRÓ I MARTÍNEZ
para optar al Grado de doctor en Ingeniería Textil y Papelera

Dirigida por los Doctores
D. JOSÉ MIGUEL CAROT SIERRA
D. JOSÉ MANUEL JABALOYES VIVAS

Tutorizada por la Doctora:
MARÍA ÁNGELES BONET ARACIL
Alcoi, Junio de 2005

D. JOSÉ MANUEL JABALOYES VIVAS, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Estadística e Investigación Operativas Aplicadas y Calidad de la Universidad Politécnica de Valencia, **D. JOSE MIGUEL CAROT SIERRA**, Profesor Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Estadística e Investigación Operativas Aplicadas y Calidad de la Universidad Politécnica de Valencia, y **Dña. MARÍA ÁNGELES BONET ARACIL** Profesora Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera

CERTIFICAN:

Que la presente memoria 'Técnicas Estadísticas para control y la mejora de la calidad en el sector Textil: aplicación en la manta y la napa termofusionada' ha sido realizada, bajo la dirección de José Manuel Jabaloyes Vivas y Jose Miguel Carot Sierra y tutorizada por María Ángeles Bonet Aracil, por Pau Miró i Martínez, en el Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad de la Universidad Politécnica de Valencia, y constituye su tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería Textil y Papelera.

Y para que así conste, presentan la referida tesis, firmando el presente certificado.

Alcoi, 13 de junio de 2005

Fdo: José Manuel Jabaloyes Vivas Fdo: Jose Miguel Carot Sierra

Fdo: María Ángeles Bonet Aracil

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las Gracias a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis:

A mis directores de tesis, D. Jose M. Jabaloyes y D. Jose M. Carot, por todo el tiempo que me han dedicado y lo mucho que me han enseñado.

A la tutora de este trabajo, Dña. Maria Angeles Bonet, por su entrega y ofrecimiento.

A D. Vicent Sanchis, por haber hecho posible que en este trabajo se encuentre con la realidad.

A Sandra, por ser compañera, pareja y amiga.

A mi familia, por estar siempre ahí.

A mis compañeras y compañeros de grupo de investigación y del departamento de Estadística, por su apoyo constante.

Al departamento de Ingeniería Textil, especialmente a D. Francisco Cases y D. Jaime Pey por facilitarme las cosas y a Macu por su paciencia.

A los trabajadores de la empresa, por el tiempo que me dedicaron mientras estuve con ellos.

A mis alumn@s, por ser el motor de mi trabajo.

A mis amig@s, por el tiempo que les he robado.

GRÀCIES A TOTES

Técnicas Estadísticas para el Control y la Mejora de la Calidad en el sector Textil: aplicación en la manta y la napa termofusionada

El sector Textil y las herramientas de Control Estadístico de la Calidad han evolucionado con las distintas revoluciones industriales. El nivel tecnológico de muchas empresas del sector es muy elevado pero en cambio el uso de técnicas Estadísticas es muy reducido, considerándose a menudo de gran dificultad, innecesarias y cuyos costos son elevados. La tesis que se presenta se plantea como objetivo romper con esta forma de pensar y demostrar algunas de las ventajas que puede aportar el uso de la Estadística para tomar decisiones y mejorar la calidad de productos y procesos.

Para alcanzar este objetivo, se hace un breve repaso al grado de utilización de la ciencia en el sector, sobre todo en algunas comarcas de la Comunidad Valenciana en las que se centrarán las propuestas después realizadas. Esta indagación proporciona las claves necesarias para encaminar la investigación hacia dos tipos de productos diferentes, por un lado, los de hogar que son los que tradicionalmente se producen en la zona, y por otro, los técnicos que representan una oportunidad de innovación.

La primera propuesta se realiza con la intención de dotar de mayor valor añadido a los productos tradicionales, mediante la incorporación de un sistema de Control de la Calidad de sus características sensoriales. Utilizando algunas técnicas de Análisis Sensorial se quiere controlar la calidad del artículo en el proceso de producción, así como definir las características sensoriales que lo caractericen y lo puedan distinguir de sus competidores. Esta propuesta se aplica a la manta para cama.

La segunda propuesta quiere facilitar la innovación en materiales técnicos, aportando las herramientas necesarias para la realización de la experimentación de forma sistemática y ordenada, para poder analizar y tomar las decisiones de forma más objetiva y eficiente. Se aplica a aquellos productos técnicos que se realicen mediante la mezcla de diferentes tipos de fibras. El caso estudio consiste en optimizar la Napa obtenida por termofusión se-

gún el uso que se le vaya a asignar, para ello en primer lugar se aplican los Experimentos de Mezclas. Una vez se realiza la fase de experimentación se modeliza mediante PLS (*Partial Least Square*) y se optimizan los resultados utilizando la función de Deseabilidad.

Las aportaciones realizadas quieren ser un instrumento para acercar los conocimientos científicos que se cultivan en la Universidad a la realidad de la empresa del entorno más próximo, apostando por la mejora y la innovación en el sector Textil.

Tècniques Estadístiques per al Control i la Millora de la Qualitat en el sector Tèxtil: aplicació en la manta i la napa termofusionada

El sector Tèxtil i les ferramentes de Control Estadístic de la Qualitat han evolucionat amb les distintes revolucions industrials. El nivell tecnològic de moltes empreses del sector és molt elevat però en canvi l'ús de tècniques Estadístiques és molt reduït, considerant-se sovint de gran dificultat, innecessàries i els costos del qual són elevats. La tesi que es presenta es planteja com a objectiu trencar amb aquesta forma de pensar i demostrar alguns dels avantatges que pot aportar l'ús de la Estadística per a prendre decisions i millorar la qualitat de productes i processos.

Per a aconseguir aquest objectiu, es fa un breu repàs al grau de utilització de la ciència en el sector, sobretot en algunes comarques de la Comunitat Valenciana en què se centraran les propostes després realitzades. Aquesta indagació proporciona les claus necessàries per a encaminar la investigació cap a dos tipus de productes diferents, d'una banda, els de llar que són els que tradicionalment es produeixen a la zona, i per un altre, els tècnics que representen una oportunitat d'innovació.

La primera proposta es realitza amb la intenció de dotar de major valor afegit als productes tradicionals, mitjançant la incorporació d'un sistema de Control de la Qualitat dels seus característiques sensorials. Utilitzant algunes tècniques de Anàlisi Sensorial es vol controlar la qualitat de l'article en el procés de producció, així com definir les característiques sensorials que el caracteritzen i ho puguem distingir dels seus competidors. Aquesta proposta s'aplica a la manta per a llit.

La segona proposta vol facilitar la innovació en materials tècnics, aportant les ferramentes necessàries per a la realització de l'experimentació de forma sistemàtica i ordenada, per a poder analitzar i prendre les decisions de forma més objectiva i eficient. S'aplica a aquells productes tècnics que es realitzen mitjançant la mescla de diferents tipus de fibres. El cas estudi consisteix a optimitzar la Napa obtinguda per termofusió segons l'ús que se

li vaja a assignar, per a això en primer lloc s'apliquen els Experiments de Mescles. Una vegada es realitza la fase d'experimentació es modelitza mitjançant PLS (*Partial Least Square*) i s'optimitzen els resultats utilitzant la funció de Desitjabilitat.

Les aportacions realitzades volen ser un instrument per apropar els coneixements científics que es conreen en la Universitat a la realitat de l'empresa de l'entorn més pròxim, apostant per la millora i la innovació en el sector Tèxtil.

Statistical Techniques to Control and Improve Quality in the Textile Industry: Application on Blankets and Nappa

The textile industry and the statistical control of quality have evolved with the different industrial revolutions. The technological capacity of many textile firms is very high yet they use statistical techniques very little, as they are seen as being very difficult, unnecessary and costly. This thesis aims to change this way of thinking and demonstrate some of the advantages of using statistics in decision-making and improving product and process quality.

In order to achieve our aim, we must first take a look at how much science is used in the industry, and especially in some areas of the Valencian Region. These geographical areas will later be the focus of our proposals. This analysis will provide us with the necessary information to aim research at two different types of products; on one hand, home textiles - the products traditionally produced in the region, and technical products, which represent an opportunity to innovate.

The first proposal aims to add value to traditional products by using sensorial analysis techniques to control the quality of the article during the production process and to define the sensorial characteristics which set it apart from its competitors. This proposal is for bed blankets.

The second proposal aims to make it easier to innovate using technical materials by providing the necessary tools to carry out orderly, systematic experiments to be able to analyse and make decisions more objectively and efficiently. This proposal is applied to technical products that are made by blending different types of fibres. The case study consists of optimising nappa obtained by fusion according to what it is going to be used for. First of all experiments with mixtures are used. Once the experiment phase has been carried out, the nappa is modelled using PLS (Partial Least Square) and the results are optimised using the desirability function.

These contributions aim to act as a tool to bring the scientific knowledge generated at the University closer to local business reality and to commit to

improvements and innovation in the textile industry.

Una experiencia nunca es un fracaso,
pues siempre viene a demostrar algo.

Thomas Alba Edison

Índice general

1. Justificación y Objetivos	11
1.1. Antecedentes	11
1.2. Marco geográfico	13
1.3. Objetivos	15
1.4. Justificación	18
1.5. Desarrollo de la tesis	19
2. La Estadística en la Industria Textil	21
2.1. El sector textil: Situación actual	22
2.2. Uso de la Estadística	24
2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil	26
2.3.1. Normativa existente.	26
2.3.2. Revisión Bibliográfica	29
2.3.3. Entrevistas con expertos.	32
3. Análisis Sensorial en el control y la mejora de procesos	37
3.1. Introducción: El Análisis Sensorial	37
3.2. Objetivos del A.S.	40
3.3. Ensayos y escalas para A.S.	42
3.4. El A.S. en el sector textil	48
3.4.1. Técnicas y Normas de A.S. para el textil	50
3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles	57
3.5.1. A.S. en el proceso de producción	59

3.5.2.	Metodología	61
3.5.3.	A.S. para la mejora	70
4.	La Manta para cama	81
4.1.	Introducción.	81
4.2.	A.S. en el proceso de producción	82
4.2.1.	Justificación y planteamiento del problema	82
4.2.2.	Objetivos del seguimiento sensorial	84
4.3.	Implantación del seguimiento sensorial a la manta	86
4.3.1.	Fase de Iniciación	86
4.3.2.	Fase de Definición	87
4.3.3.	Fase de Entrenamiento	112
4.3.4.	Fase de Implementación	118
4.3.5.	Fase de Control Continuo	123
5.	Diseño de Experimentos para textiles no tejidos	125
5.1.	Introducción	125
5.2.	Textiles Técnicos	127
5.3.	Diseño de Experimentos para Textiles	130
5.3.1.	Los Experimentos de Mezclas	131
5.3.2.	Causas y Objetivos.	133
5.3.3.	Metodología	135
6.	La Napa termofusionada	173
6.1.	Introducción	173
6.2.	Diseño de Experimentos para textiles	174
6.2.1.	Objetivos del Diseño de Experimentos	174
6.2.2.	Justificación y planteamiento del problema	175
6.3.	Implementación del DE a la Napa	185
6.3.1.	Planteamiento de Objetivos	186
6.3.2.	Definición de variables	187
6.3.3.	Definición del diseño	191
6.3.4.	Realización de pruebas	194

6.3.5. Construcción del modelo	201
6.3.6. Búsqueda de condiciones óptimas	223
6.3.7. Mejora del producto y del proceso	231
7. Conclusiones	235
8. Futuras líneas de Investigación	239
Apéndices	241
A. Coeficientes de los modelos de regresión del PLS2	241
B. Bondad de ajuste de los modelos de regresión PLS2 (parte 1)	247
C. Bondad de ajuste de los modelos de regresión PLS2 (parte 2)	253
D. Modelos de regresión PLS1(parte 1)	263
E. Modelos de regresión PLS1(parte 2)	271
F. Resultados de la función de deseabilidad	277
Bibliografía	282
Cláusula de Buen Uso	I



Índice de figuras

3.1. Metodología propuesta para el control sensorial en el proceso	62
4.1. Proceso de producción de mantas Raschel	92
4.2. Hoja de control (parte A)	120
4.3. Hoja de control (parte B)	121
5.1. Sistema de coordenadas simplex para tres componentes	133
5.2. Metodología para textiles no tejido mediante mezclas	136
5.3. Diseños en red simplex para $q=3$ y $q=4$ componentes	142
5.4. Descomposición PLS	157
5.5. Función de deseabilidad con punto objetivo	167
5.6. Función de deseabilidad para un punto máximo	168
6.1. Región factible	188
6.2. Varianza explicada del PCA con todas las variables	199
6.3. Relación entre variables respuesta.	201
6.4. Porcentaje de variabilidad para calibración y la validación.	203
6.5. Coeficientes de regresión modelo completo.	204
6.6. Relación entre variables modelo completo.	205
6.7. Relación entre variables respuesta modelo completo.	206
6.8. Valores observados frente a predichos densidad (Y_1) modelo completo.	207
6.9. Variabilidad explicada variables respuesta (Y) grupo 1.	208
6.10. Coeficientes de regresión aislamiento grupo 1.	209

6.11. Relación entre variables grupo 1.	210
6.12. Predicciones espesor inicial grupo 1.	211
6.13. Relación entre variables variables instrumentales.	212
6.14. Predicciones del modelo para densidad.	214
6.15. Predicciones del modelo para espesor.	215
6.16. Predicciones del modelo para aislamiento.	216
6.17. Predicciones del modelo para cuerpo.	217
6.18. Predicciones del modelo para pérdida de espesor.	218
6.19. Predicciones del modelo para pérdida al 25 %.	219
6.20. Predicciones del modelo para pérdida al 40 %.	220
6.21. Coeficientes de pérdida de espesor en UNE 11012:1989.	221
6.22. Coeficientes de pérdida de dureza al 25 % en UNE 11012:1989.	222
A.1. Coeficientes de regresión aislamiento.	242
A.2. Coeficientes de regresión espesor inicial.	242
A.3. Coeficientes de regresión pérdida de espesor (UNE 53170:2002).	243
A.4. Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).	243
A.5. Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).	244
A.6. Coeficientes de regresión pérdida de espesor (UNE 11012:1989).	244
A.7. Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 25 % (UNE 11012:1989).	245
A.8. Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 40 % (UNE 11012:1989).	245
A.9. Coeficientes de regresión cuerpo.	246
B.1. Valores observados frente a predichos aislamiento(Y_2).	248
B.2. Valores observados frente a predichos espesor inicial(Y_3).	248
B.3. Valores observados frente a predichos pérdida de espesor (UNE 53170:2002)(Y_4).	249
B.4. Valores observados frente a predichos pérdida de espesor al 25 % (UNE 53170:2002)(Y_5).	249

B.5. Valores observados frente a predichos perdida de espesor al 40 % (UNE 53170:2002)(Y_6).	250
B.6. Valores observados frente a predichos perdida de espesor (UNE 11012:1989)(Y_7).	250
B.7. Valores observados frente a predichos perdida de espesor al 25 % (UNE 11012:1989)(Y_8).	251
B.8. Valores observados frente a predichos perdida de espesor al 40 % (UNE 11012:1989)(Y_9).	251
B.9. Valores observados frente a predichos cuerpo(Y_{10}).	252
C.1. Valores residuales densidad(Y_1).	254
C.2. Valores residuales aislamiento(Y_2).	254
C.3. Valores residuales espesor inicial(Y_3).	255
C.4. Valores residuales perdida de espesor(Y_4).	255
C.5. Valores residuales perdida al 25 %(Y_5).	256
C.6. Valores residuales perdida al 40 %(Y_6).	256
C.7. Valores predichos frente a observados para pérdida de espesor.	257
C.8. Valores predichos frente a observados para pérdida de dureza al 25 %.	257
C.9. Valores predichos frente a observados para pérdida de dureza al 40 %.	258
C.10. Valores predichos frente a observados para densidad.	258
C.11. Valores predichos frente a observados para espesor inicial.	259
C.12. Valores predichos frente a observados para aislamiento.	259
C.13. Variabilidad explicada variables de fábrica.	260
C.14. Valores predichos para densidad (variables de fábrica).	260
C.15. Valores predichos para espesor inicial (variables de fábrica).	261
C.16. Coeficientes de regresión grupo 2.	261
D.1. Representación conjunta X y densidad.	264
D.2. Coeficientes de Regresión para densidad.	264
D.3. Residuos de los valores predichos para densidad.	265
D.4. Representación conjunta X y espesor inicial.	265

D.5. Coeficientes de Regresión para espesor inicial.	266
D.6. Residuos de los valores predichos para espesor inicial.	266
D.7. Representación conjunta X y aislamiento.	267
D.8. Coeficientes de Regresión para aislamiento.	267
D.9. Residuos de los valores predichos para aislamiento.	268
D.10. Representación conjunta X y cuerpo.	268
D.11. Coeficientes de Regresión para cuerpo.	269
D.12. Residuos de los valores predichos para cuerpo.	269
E.1. Representación conjunta X y pérdida de espesor (UNE 53170:2002).272	
E.2. Coeficientes de Regresión para pérdida de espesor (UNE 53170:2002).272	
E.3. Residuos de los valores predichos para pérdida de espesor (UNE 53170:2002).	273
E.4. Representación conjunta X y pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).	273
E.5. Coeficientes de Regresión para pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).	274
E.6. Residuos de los valores predichos para pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).	274
E.7. Representación conjunta X y pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).	275
E.8. Coeficientes de Regresión para pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).	275
E.9. Residuos de los valores predichos para pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).	276
E.10. Coeficientes de pérdida de dureza al 40 % en UNE 11012:1989. 276	

Índice de Tablas

3.1. Sentidos más utilizados por sector	39
4.1. Descriptores sensoriales en de fabricación de Mantas	98
4.2. Resultados prueba de emparejamiento (C: Correcto, I: In- correcto)	113
4.3. Resultados prueba triangular (C: Correcto, I: Incorrecto) . . .	114
4.4. Evolución de la calidad	122
5.1. Porcentaje de textiles técnicos sobre producción total	128
6.1. Características generales de los sistemas de fabricación de Napas	177
6.2. Diseño utilizado	193
6.3. Principales variables respuesta	200
6.4. Valoraciones variables de calidad	226
6.5. Valoraciones variables de calidad (continuación)	227
6.6. Valoraciones variables de calidad (continuación)	228
6.7. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones ópti- mas de fabricación en el sector hogar	230
6.8. Valores óptimos por sector	231
6.9. Estudio de costes	233
F.1. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones ópti- mas de fabricación en el sector mueble	278

F.2. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector colchón	278
F.3. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector automoción	279
F.4. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector juguete	279
F.5. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector construcción	280
F.6. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector higiene	280
F.7. Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector climatización	281

Capítulo 1

Justificación y Objetivos

1.1. Antecedentes

La industria textil o el arte de tejer tiene un origen muy ligado y paralelo a la evolución de nuestra sociedad actual. En todas las civilizaciones ha tenido un papel importante. De la producción artesanal y familiar de la época clásica se pasó a la creación de distintos gremios en la Edad Media. Pero es en la revolución industrial cuando el textil sufre un gran cambio en su producción encabezando la industrialización. En el siglo XX se ha producido la incorporación de los avances tecnológicos y las nuevas fibras artificiales que han permitido progresar a esta actividad tan viva.

Como se dice en la publicación de la Dirección General de Empresa de la Comunidad Europea, *en estos últimos años el sector se ha reinventado, ha integrado las tecnologías de tratamiento de la información en la producción, la gestión y la distribución, ha mejorado su eficiencia y solvencia*. Pero éste sector se está enfrentando a un nuevo reto; en estos momentos opera en una economía abierta ya que la protección comercial, el Acuerdo Multi-Fibras, que aun existía desapareció a principios del 2005. Es uno de los primeros sectores industriales que han entrado en un mercado mundial de libre comercio. Esto provoca una mayor competitividad en una industria donde ésta ya es elevada, forzando a las empresas del sector a la búsqueda de mejoras de com-

petitividad. Se hace necesario la orientación de la producción hacia los dos segmentos que más valor añadido aportan a los productos. Estos suponen:

- En primer lugar, el aseguramiento de la calidad. En el sector textil la lealtad al proveedor es reducida, lo que obliga a mantener y aumentar la calidad en fibra, hilo, tejido, estampado y acabado para poder asegurarse la satisfacción de los clientes.
- En segundo lugar, la mejora constante en diseño de los productos finales. Apostar por la innovación y la investigación con el objetivo de mejorar, diversificar y diseñar nuevos productos para diferenciarse en un mercado abierto.

En estos momentos la coyuntura mundial: la fortaleza del euro frente al dólar, con el encareciendo las exportaciones; la entrada de China en la OMC, uno de los grandes productores textiles; y la desaparición del Acuerdo Multi-Fibras, abriendo el mercado mundial, hacen pensar que el sector textil nacional pueda atravesar por dificultades en los próximos años, lo que hace imprescindible que se deba actuar para paliar estos problemas.

1.2. Marco geográfico

El sector textil-confección, según los últimos datos facilitados por CITYC (Centro de Información Textil y de la Confección) ha mantenido durante 2002 una posición predominante en la industria de la Comunidad Valenciana aún por encima del fuerte crecimiento que han experimentado otros sectores como el del automóvil o los azulejos. En cifras, esta situación ha supuesto un 8 % de la exportación industrial valenciana, la aportación de un 9 % al sector industrial nacional y el 1,8 % al PIB Regional.

Ocupa a cerca de 45.000 personas que generan una producción superior a los 2.600 millones de euros, con un valor añadido de 1.100 millones de euros. Aunque todos los subsectores están presentes en la industria textil valenciana, ésta tiene una mayor especialización en productos para el hogar (tapicería, ropa de cama y mesa, alfombras, etc), que representan las tres cuartas partes de la producción española.

El sector está constituido por PYMES, debido a la mejor adaptación de este tipo de empresa a las variaciones del mercado textil y a la concentración geográfica de la industria, que favorece las relaciones de complementariedad entre las empresas, la acumulación de conocimiento y poder contar con servicios de apoyos comunes, aunque también implica que la economía de la zona esté condicionada a la evolución del sector industrial en el que está especializada. La dimensión media se sitúa en 19 trabajadores por empresa. Las más grandes, con más de 200 trabajadores, representan menos del 1 % del total. Las estructuras de comercialización y producción de las empresas han sufrido, en la última década, un gran esfuerzo inversor para modernizar y adaptarlas a los nuevos tiempos.

El empleo sectorial representa el 11 % de la industria valenciana, si bien este porcentaje es mayor en determinadas comarcas, por la elevada concentración geográfica de la actividad. Las cinco primeras comarcas concentran el 80 % del empleo, destacando la importancia de poblaciones como Alcoi, Ontinyent, Banyeres, Cocentaina, Bocairent, Albaida o Crevillent. En esta última localidad se producen principalmente alfombras, siendo en las otras

cuatro poblaciones donde se ha desarrollado la producción de tapicería, ropa de cama y muebles.

La actividad exterior en el sector tiene una larga tradición que ha permitido la presencia de productos valencianos en los principales mercados mundiales. En 2002, el sector ha destinado un 40 % de su producción al mercado exterior, con un valor de 1041 millones de euros. Los principales productos exportados han sido los tejidos con un 49 %, la ropa de hogar con un 16 % y las prendas de vestir con un 11 %. En cuanto a los países de destino, la UE ha sido el principal mercado con dos tercios del total, además de realizar importantes intercambios comerciales con América del Norte (15 %) y Oriente Próximo (12 %).

El trabajo realizado se enmarca en las Comarcas Centrales de la Comunidad Valenciana: l'Alcoià, el Comptat, la Foia de Castalla y la Vall d'Albaida. Como ya se ha indicado, estas zonas albergan numerosas pequeñas empresas del sector textil-hogar que van a tener que adaptarse a las nuevas reglas del mercado mundial y que deben proseguir en su esfuerzo inversor e innovador para ser más competitivas. El estudio pretender ser un instrumento que ayude a afrontar estos nuevos retos.

1.3. Objetivos

Partiendo de la realidad anterior se proponen los objetivos a los que se quiere llegar con la presente tesis. El objetivo principal que se persigue es que por medio del uso sistemático de diversas técnicas estadísticas, se llegue a aportar mayor valor añadido a los productos y servicios de las empresas de la industria textil-hogar, de forma que facilite y mejore su competitividad en el mercado global.

Es la intención del estudio aportar diversos instrumentos que ayuden tanto al aseguramiento y control de la calidad como a la mejora en el diseño de nuevos productos. Para llevar a cabo este cometido se va a apostar por el uso de herramientas estadísticas avanzadas con diversas finalidades y objetivos:

a. Controlar y asegurar la producción:

Como se verá más adelante en la mayoría de los casos no se está llevando ningún control estadístico on-line en la producción textil y esto provoca importantes pérdidas. Se trabajará sobre el uso de técnicas que permitan un mayor control del producto, tanto de los defectos que se producen como de los costos que originan.

b. Tomar decisiones sobre el proceso de producción:

Se ha comentado con anterioridad que en el sector existe una apuesta constante por el tratamiento de la información en la producción pero se ha detectado el hecho que existe una utilización y un manejo de los datos a nivel muy elemental. Se ve la necesidad de aportar herramientas potentes y sencillas para el análisis y tratamiento de los datos que se generan en la producción.

c. Diseñar y mejorar productos:

Una de las piezas claves de la innovación y la mejora es el diseño de productos. En este sentido se quiere trabajar en facilitar y ahorrar costes y experimentos innecesarios para la elaboración de nuevos productos y la mejora de los ya producidos.

A los objetivos generales presentados, se pueden añadir los siguientes objetivos específicos, que se asocian a las aplicaciones propuestas. Estos objetivos son:

- Facilitar su uso.

Facilitar herramientas que puedan ser utilizadas de forma continuada por personas no especialistas en estadística.

- Abordar un problema real.

Estudiar problemas reales con un determinado producto para demostrar la eficacia de estas técnicas.

- Reducir el tiempo y los costos.

Lograr una reducción de los costos de producción y del tiempo en desarrollar el producto.

- Mejorar los métodos de ensayo.

Asegurar una metodología que garantice la validez de las pruebas, los datos. De forma que lleven a conclusiones objetivas.

- Caracterizar sensorialmente un producto

Describir las percepciones sensoriales de un artículo en cuanto a su caracterización natural y en su intensidad. Para establecer este objetivo se recurre a los llamados perfiles sensoriales.

- Crear un sistema estandarizado de control.

Crear un sistema de medidas y un método de operar mediante el uso de análisis sensorial.

- Aumentar la fidelidad de proveedores y consumidores

Establecer las especificaciones de las características organolépticas del producto de forma que permitan tener una relación bien definida entre el cliente y el proveedor.

Estos son los objetivos que se han trazado para alcanzar en el trabajo que se presenta. Éste no pretende tener un planteamiento estanco sino que sea una aportación que ayude a las empresas a afrontar una difícil situación desde un punto de vista innovador. Es importante señalar que la mayor inversión que se necesitaría para implementar los instrumentos utilizados en esta tesis es la formación adecuada de los responsables y los operarios que están al frente de la producción. Mediante la institucionalización, es decir, el uso continuado y sistemático de las herramientas propuestas, se podrían alcanzar niveles de mejora y de reducción de costes importantes. Es por esto que el trabajo presentado tiene en todo momento un carácter práctico y útil para las empresas del sector textil, sobre todo aquellas que se desarrollan en el entorno más próximo, el area de las Comarcas Centrales de la Comunidad Valenciana.

1.4. Justificación

Entre los motivos que justifican la tesis que se presenta se podrían destacar:

- La situación de la industria textil de la Comunidad Valenciana:

Como ya se ha comentado anteriormente, la apertura del mercado mundial va a suponer un reto importante para las PYMES que operan en la Comunidad Valenciana que van a tener que afrontar en los próximos años.

- La nuevas tendencias en el manejo de los métodos estadísticos:

La aparición y utilización del sistema Seis-Sigma por parte de grandes corporaciones, a vuelto a relanzar el interés de la industria por la utilización de las herramientas estadísticas como medio para la mejora y la innovación permanente.

- El escaso uso de la Estadística en el sector textil-hogar:

Se ha podido constatar que los métodos estadísticos tienen escasa implantación tanto en el tratamiento de datos y el control de la calidad como en el diseño de productos.

- La transmisión de conocimientos:

Uno de los objetivos principales de la Universidad es el transmitir conocimientos a la sociedad. En situaciones de cambio como en la que está entrando el textil local, se hace más necesaria que nunca la colaboración que permita a las empresas su adaptación a los nuevos tiempos.

1.5. Desarrollo de la tesis

Para desarrollar con éxito este trabajo es necesario, en primer lugar, conocer el alcance y la implantación que de las diversas herramientas estadísticas se hace en el sector textil de las Comarcas Centrales. Se ha realizado un análisis de la situación mediante la entrevista a expertos y especialistas de las empresas, así como un aproximación a las herramientas estadísticas que se están utilizando en la actualidad por el sector por medio de la revisión bibliográfica.

Debido a la cantidad de procesos que existen, se ha decidido, que aunque las propuestas que se realizan sean generales y aplicables a varios productos y/o procesos, aplicarlas a casos concretos para poder así evaluar y observar la eficacia de la utilización de las técnicas estadísticas propuestas.

Luego una vez analizado el uso de la estadística en el sector textil, se desarrollan las propuestas que se han definido. En primer lugar se expone la metodología propuesta para controlar y mejorar productos textiles mediante el uso del análisis sensorial. Se proponen dos metodologías, una para la realización del seguimiento sensorial de un producto en su proceso de producción y otra para conseguir la caracterización y descripción sensorial de productos textiles en fase de diseño. Para desarrollar el primer caso se realiza el seguimiento y control de las características sensoriales en el proceso de fabricación de la manta para cama. Para la segunda experiencia se caracterizan y se miden las características sensoriales de la napa.

La segunda propuesta que se realiza es la utilización de experimentos diseñados para mejorar las prestaciones de productos técnicos. Se desarrolla una metodología para la mejora de productos que se elaboren mediante la mezcla de varias componentes y que se utilicen para usos de carácter técnico. El caso estudio que se ha utilizado es el de la napa realizada por termofusión, puesto que es un producto con enormes prestaciones y usos en varios sectores.

La tesis finaliza mediante la exposición de las conclusiones a las que se ha llegado mediante la aplicación de las herramientas estadísticas en los casos estudiados.

Por último se expondrán y destacarán posibles investigaciones derivadas del estudio que se pueden convertir en acciones futuras que contribuyan y ayuden al sector en estos momentos de incertidumbre, apostando por la innovación y el desarrollo.

Capítulo 2

La Estadística en la Industria Textil

En este capítulo se realiza un breve repaso a la situación del sector textil actualmente, centrandose en el caso de la Comunidad Valenciana. Después se analizará el uso de la Estadística a nivel industrial, para concretar en la observación, de la utilización que se está haciendo de algunas herramientas estadísticas en el sector textil.

En la última parte se realiza el análisis a la información recogida para acabar exponiendo las acciones que se toman motivados por este punto.

2.1. El sector textil: Situación actual

Desde principios de este año, el 2005, el sector textil sufre una situación que hasta hace unos años era impensable. La finalización de acuerdo general sobre aranceles, el Acuerdo Multi-Fibras, ha provocado que este sector sea uno de los primeros en participar de un mercado global. La entrada a formar parte de la Organización Mundial del Comercio de China, uno de los mayores productores textiles, ha provocado que este sector se encuentre, sobre todo en los países industrializados, seriamente amenazado. Pero este no es un proceso nuevo sino que se viene gestando desde hace muchos años.

La redistribución mundial de la industria textil se inició a finales de los años 60 con la expansión de nuevos centros de producción en Asia. Muchos países en desarrollo imitaron esta estrategia de industrialización. Desde hace veinte años el volumen de la producción textil crece a un ritmo medio de aproximadamente 1.2 % en el mundo, frente a un 2.7 % en los países en desarrollo y hasta un 3.6 % en los países asiáticos en desarrollo. Aunque gracias a la reestructuración y la modernización llevada a cabo por la industria de los países desarrollados, éstos continúan liderando la exportación de textiles por el valor de su producción.

Uno de los hechos importantes en el transcurso de los últimos años es el cambio en la distribución de la producción entre las regiones que se dio entre los años 1980-1995. Entre esos años la producción textil de Asia aumentó en un 97,7 % y el de América central y del sur en un 76,3 %. En cambio la producción Europea bajó en un 32,4 %.

Esta estrategia de cambio de región para producir se ha vuelto a imponer, sobre todo en Europa. Se están desplazando algunos procesos, sobre todo los más contaminantes y aquellos que necesitan de una fuerte demanda de mano de obra, a países en vías de desarrollo buscando una legislación más permisiva y mano de obra más barata. Este proceso recibe el nombre de deslocalización, y esta provocando la destrucción de muchos empleos.

Esto unido a la situación de fuerte competencia que existe en el mercado por la gran capacidad exportadora de los países en desarrollo, hace que las

pequeñas y medianas empresas se encuentren en una situación muy delicada, sobre todo en el estado español en la que según un informe del Instituto Intertextil Español se podría perder más de un 40 % del empleo que ofrece el sector hasta el 2010.

Este sector ocupa en la Comunidad Valenciana a cerca de 45.000 personas aportando un 2 % del Producto Interior Bruto regional. La industria textil valenciana se caracteriza por una fuerte concentración regional, concentrándose las empresas mayoritariamente entre las provincias de Valencia y Alicante. Las comarcas de las Vall d'Albaida, el Comtat y l'Alcoià suponen el 56,4 % del empleo del sector. El subsector predominante en esta región son los productos para el hogar, siendo ésta una de la zonas amenazadas por los cambios que acontecen a nivel global.

Se ha considerado como una de las claves de esta tesis que las aportaciones que se realicen sean en beneficio de la industria que se desarrolla en estas comarcas por ser donde se desarrolla nuestra tarea de investigación y desarrollo.

Debido a esta situación, y para conseguir la pervivencia del sector, la Comisión Europea propuso un conjunto de medidas que debían adoptar las empresas para mejorar su eficiencia (*Comisión Europea, 2003*). Entre las que se podrían destacar: la utilización de tecnologías de la información, la revalorización de las ventajas comparativas como son la calidad, el diseño y el factor moda, y la capacidad de innovación y de desarrollar nuevos productos de alto nivel tecnológico.

2.2. Uso de la Estadística

La Estadística entendida como *Ciencia de la recogida, análisis e interpretación de los datos numéricos*, no es una ciencia vulgar sino, como decía *Kendall*, la base del conocimiento cuantitativo. De aquí la importancia que tiene un uso adecuado, puesto que permite obtener un conocimiento que sería imposible adquirir sin ella.

Una de las principales conexiones entre la estadística y la industria se establece a partir del Control Estadístico de la Calidad. El objetivo principal de éste es la reducción sistemática de la variabilidad en las características de calidad clave del producto. Las técnicas estadísticas en la fabricación y el aseguramiento de la calidad han tenido una larga historia. Al inicio el control se basaba en la inspección de la calidad, como actividad posterior e independiente de la producción. A finales de la década de 1920, fue desarrollado el muestreo para aceptación basado en la estadística, como alternativa a la inspección 100 %. A principios de los años 30 W. A. Shewhart, que desarrolló el concepto estadístico de los diagramas de control, Deming y Juran encabezan un cambio en el concepto de calidad, puesto que afirman que "la calidad no se inspecciona, se controla". Entre los años 50 y 60 ocurrieron desarrollos en el aseguramiento de la calidad, en industrias como las aeroespaciales utilizaron programas denominados de *cero defectos*, con un fuerte contenido estadístico. En esta misma época Japón había dado un paso más y apostaba por el control en el diseño, siendo Taguchi, quien realizó la mayor aportación a la industria Japonesa con la incorporación del concepto del control *Off-Line*. En la década de los 80 se incorporan estos planteamientos a las grandes industrias de occidente. Después de estos hechos es cuando empiezan a expandirse los sistemas de gestión de la Calidad, en todos ellos se destaca la importancia que desempeña el uso de herramientas estadísticas dentro de la calidad. A través de los últimos tiempos se han venido desarrollando nuevos modelos y estrategias para la mejora de la calidad. La última de estas metodologías que se están implantando con éxito en algunas grandes empresas es el caso de Seis Sigma, que basa su clave en el uso sistemático de

diferentes herramientas estadísticas.

La mayoría de las herramientas estadísticas nombradas tienen un uso cotidiano por parte de las grandes corporaciones internacionales, donde se cuenta con medios y equipos especializados en estos temas. En cambio, lamentablemente para el caso de las pequeñas y medianas empresas estas herramientas quedan lejos y parecen muy complicadas. Muchas veces estas dificultades son debidas al desconocimiento y la falta de formación que se tiene sobre estas materias.

En la medida en que el poco uso de estas técnicas en las pequeñas y medianas empresas del entorno estudiado es una realidad, como se verá a continuación, esta se convierte en otra de las claves sobre la que sustenta esta investigación.

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

En este apartado se analiza el uso del Control Estadístico de la Calidad en la industria textil. Para ello se analiza en primer lugar, la normativa que existe en estos momentos en relación con la calidad, revisando la normativa a nivel de gestión y viendo cual es el uso de Estadística que se recomienda. En segundo lugar se hace un repaso a la bibliografía existente y a las publicaciones que nos relacionan la Estadística y la calidad en el textil.

Para analizar la realidad en el campo de la aplicación se comentarán las entrevistas que se han realizado con personas e instituciones relevantes relacionadas con el sector textil-hogar, industria que se desarrolla tradicionalmente en las comarcas de l'Alcoià, El Comptat y la Vall d'Albaida.

Por último se analizará la información consultada y obtenida, que ha llevado a una serie de conclusiones.

2.3.1. Normativa existente.

Se va a realizar un repaso de la normativa que existe a nivel de calidad, las entidades que se encargan de su acreditación, así como conocer la evolución de la aplicación en la industria textil. Viendo las recomendaciones que se establecen alrededor de la herramientas de control estadístico.

Uno de los conceptos de calidad encontrados, de las diversas opiniones existentes, es debida a Ishikawa que definía: *trabajar en calidad, consiste en diseñar, producir y servir un producto o servicio que sea útil, lo más económico posible y siempre satisfactorio para el usuario.*

Este concepto se establece como resultado de la evolución en la práctica de la calidad: la inspección, donde se comprueba la calidad, el control de calidad, se controla, el aseguramiento de la calidad, donde se produce la calidad, y para gestionarla, la gestión total de la calidad.

Cada uno de los puntos nombrados representan, no solo la evolución hasta la consecución de la calidad, sino también la evolución a través del tiempo,

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

desde su inicio en 1918 como mera inspección y control hasta nuestros días entendida como la gestión total de la calidad. En este último punto es donde deben descansar el resto, ya que se basa en la planificación estratégica y la movilización de la organización, con un único fin, la mejora continua. La gestión total de la calidad tiene una aplicación bastante reciente, siendo ésta una de las causas de la escasa implantación de estas estrategias en las empresas del sector hasta tiempos relativamente cercanos.

Por el contrario, cada día son más las empresas que apuestan por el aseguramiento de la calidad, siendo la norma ISO9000:2000, la encargada de ofrecer las reglas y directrices para llegar a la coordinación que permita conseguir producir calidad, cuyo objetivo es describir los fundamentos de los sistemas de gestión de la calidad.

En la industria textil nacional, y hasta la aparición de la normativa internacional de los sistemas de calidad en 1987, se apostó inicialmente por la inspección y el control de calidad. Es en 1955-56 cuando se inicia desde la Escuela Especial de Ingenieros de Industrias Textiles y de la mano del profesor Albert Barella la publicación de varias obras sobre esta materia.

Desde este momento aumenta el interés sobre la calidad en el textil encargándose de su difusión inicial las Escuelas Textiles tanto de Tarrassa como la de Alcoi, la Asociación Española para el Control de la Calidad (A.E.C.), el patronato "Juan de la Cierva"(CID-CSIC) y la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.).

En 1970 la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (O.N.U.D.I.) convocó en Budapest un coloquio con el tema 'El Control de la Calidad en el textil y la problemática de su implantación en los países en vías de desarrollo', fruto de la cual fueron unas recomendaciones para la implantación del Control de Calidad. A partir de aquí, se empieza a hacer más énfasis en el aseguramiento de la calidad por medio de la gestión y la organización, y no solo el hecho de controlar la calidad.

Con la aparición de la normativa internacional y las certificaciones, la industria textil empieza a normalizar y certificar servicios y productos, y aparecen etiquetados especiales. Todo esto se lleva a cabo gracias a la apa-

rición en el escenario de los distintos institutos, laboratorios y asociaciones textiles y normalizadoras (AENOR, AITEX, INTERTEXTIL, LEITAT, . . .)

En el caso de la normas UNE para la industria textil, el consejo Intertextil Español es el encargado de regular la normalización de:

- Fibras, hilos, tejidos, . . . y otros artículos textiles fabricados.
- Material para la industria textil.
- Maquinaria para la industria textil y de confección.
- Sistemas de designación de tallas para ropa.
- Recubrimientos textiles.
- Textiles técnicos.
- Comportamiento al fuego de los textiles.

En la normativa existente se hacen varias recomendaciones sobre el uso de la estadística. En la normativa ISO9000:2000 se recomienda su uso para verificar la aceptabilidad de las capacidades del proceso, del producto y del servicio, siendo su uso opcional, aunque el auditor puede exigirlo si encuentra una condición en la que la calidad del producto solo puede ser protegida utilizando técnicas estadísticas.

La asociación internacional ISO edita también normativa para la aplicación de diversas técnicas estadísticas con distintos fines:

- Guías de técnicas estadísticas en general, para la aplicación a las ISO 9001 (ISO/TR 10017), para sistemas de muestreo (ISO/TR 8550), para la estandarización y la especificación (ISO/TR 13425), y para gráficos de control (ISO 7870).
 - Terminología y símbolos, de términos generales, de probabilidad, de control estadístico de la calidad y de diseño de experimentos (ISO 3534).
-

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

- Interpretación estadística de datos y resultados sobre estimaciones (ISO 2602), intervalos de confianza (ISO 2854, ISO 3301, ISO11453), intervalos de tolerancia (ISO 3207), test de hipótesis (ISO 3494) y estudio de la normalidad (ISO 5479).
- Procedimientos de muestreo para la inspección (ISO 2859-UNE 66020, ISO 8422, ISO 3951).
- Métodos de medida y resultado para la verificación y precisión (ISO 5725), de calibración (ISO 11095) y de capacidad de detección (ISO 11843).

Se recomienda el uso de estas técnicas para la verificación y el control de los procesos y productos, que serán aplicadas según los requerimientos de cada caso y según como regule la normativa UNE.

2.3.2. Revisión Bibliográfica

Se va a realizar un repaso sobre la bibliografía en la que se ha encontrado referencias al uso de la estadística como herramienta en el textil. Se comentarán las diversas publicaciones que existen sobre el tema y algunos sitios en internet donde se puede obtener información al respecto.

La principal y más extensa bibliografía encontrada es la escrita por el profesor Albert Barella, quien a lo largo de su vida publicó numerosos artículos y libros sobre el uso de las más diversas técnicas estadísticas en la industria textil. Este, juntamente con la A.I.T.A., fueron los encargados de difundir numerosos títulos sobre el control de la calidad en el textil y la aplicación de la estadística en éste. Algunos de estos son:

- El control de calidad en el tisaje. A. Barella 1959.
- Métodos estadísticos en la tecnología textil. T. Murphy, K.P. Norris y Tippet 1963.
- Estadística de la fatiga de los materiales textiles, A. Barella 1966.

- Estadística aplicada. A. Barella 1969.
- Control de calidad en la industria textil. O.N.U.D.I. y A.I.T.A. 1973.
- Aplicación práctica del control de Calidad en el tisaje. J. M^a Recasens 1973.
- Principios del diseño de Experiencias y optimización de procesos industriales. A. Barella 1975.
- Control y gestión de la calidad en industrias de confección. Luis Viertel Vilá 1979.
- Industria Textil: del control de la calidad a la fiabilidad. A. Barella 1986.

Son numerosas las técnicas estadísticas recomendadas en todos estos libros: los métodos estadísticos elementales, ANOVA, regresión y correlación, fiabilidad, muestreo, diseño de experimentos, estadística no paramétrica, distribuciones no gaussianas, . . .

Ésta ha sido la bibliografía más extensa encontrada que nos relaciona el textil y la estadística. Existen otras publicaciones realizadas desde los departamentos textiles, de la Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad Politécnica de Valencia, y desde los institutos, AENOR, AITEX, INTERTEX, TECNITEX, . . . pero no son tan específicas sobre el uso de la estadística para el control de calidad en el textil sino que recomiendan su uso para el control y la mejora de la calidad.

En las publicaciones consultadas, se han encontrado varios artículos que tratan de la gestión de la calidad de los hilos, siendo utilizada la estadística como herramienta en las experiencias de laboratorio. En este sentido existe una publicación, News Bulletin USTER, de la empresa suiza *Uster Technologies AG*. que ha desarrollado sus propios métodos estadísticos aplicados a la maquinaria que producen y al control de la hilatura. También se han encontrado artículos referentes al uso de la estadística para el control de

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

aguas residuales y el medio ambiente en el sector textil. Las más importantes publicaciones del sector, en castellano, son:

- *International Textile-Bulletin (Edición española).*
- *Revista de la industria textil.*

Otras publicaciones interesantes donde se encuentran artículos relacionados con algunos de los temas de interés son:

- *Journal of industrial textiles.*
- *Boletín Intexter.UPC.*
- *New textiles.*
- *Como tessile di qualità. Istituto Certificazione Qualità I.C.Q.*
- *Technical textiles international.*
- *Textile research journal.*
- *Journal of textile engineering.*
- *Textile World.*

Se consultaron, en la web del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, las tesis doctorales escritas, dos utilizan la Investigación Operativa aplicada a la industria textil, para el control de las características de textura y para la planificación de la producción, y otra la estadística y el análisis multivariante, para el control de la calidad espectrofotométrica en fibras textiles.

Existen varios autores que en la actualidad centran su trabajo en la aplicación de herramientas estadísticas algunos son Wilson Djh. (2001), quien centra sus investigaciones en la utilización de técnicas de estadística multivariante aplicadas a la manufactura de fibras, Brossman R. (1999), quien escribe sobre la aplicación de la reproducibilidad en los laboratorios, o Buhl J. (1986) quien apunta que indicadores tomar para el control de algunos procesos textiles.

Respecto a publicaciones relacionadas con los temas que se desarrollan en esta tesis, y en cuanto al análisis sensorial se refiere, se deben destacar la publicaciones de la Doctora Philippe (2002) que habla sobre la descripción hedónica de tejidos , y en cuanto a diseños de experimentos, la referencia que se ha encontrado es la de R. Phan-Tan-Luu (1989), que ha realizado diseños de experimentos aplicados a las propiedades de los acabados textiles confieren a los tejidos.

2.3.3. Entrevistas con expertos.

Realizada la revisión de la documentación escrita con referencia al tema que nos interesa pasamos a analizar el uso de estas técnicas en el campo de la aplicación entrevistando algunos de los profesionales que trabajan en el sector más proximo en el que se van a desarrollar la experiencias.

Para poder analizar la aplicación practica de la estadística en la calidad del sector, se buscaron direcciones tanto postales como electrónicas de diversas entidades y personas a nivel nacional, contactando con distintos departamentos, institutos y laboratorios textiles.

Después de que muchas personas con las que se contactó dieran referencias de él, se pudo contactar con el profesor Dr. Ing. Albert Barella i Miró (2001), quien fue director del instituto de tecnología química y textil del patronato "Juan de la Cierva"(CID-CSIC) y de la Asociación de Investigación Textil Algodonera. Este, en el transcurso de su vida profesional, dedicó y contribuyó de una manera efectiva a la introducción, en España, de los Métodos Estadísticos y las técnicas del control de la calidad aplicadas a la industria textil. Dejando mucha bibliografía tras de si, se quieren destacar tres técnicas estadísticas originales que desarrolló entre 1957-67, éstas son:

- Un test para comprobar a posteriori si una muestra ha sido obtenida aleatoriamente (desarrollado en colaboración con el ingeniero industrial D. Alberto Arañó).
 - Un ábaco para verificar la significación estadística de una cambio en el valor del recorrido porcentual medio (P.M.R.).
-

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

- Una técnica para ajustar una distribución Weibull teórica a unos datos experimentales.

Los departamentos a los que se les preguntó sobre el uso de la estadística en el textil, fueron los departamentos textiles de Alcoi, Tarrassa y Béjar. Todas las conversaciones que se han tenido han referido el uso de la estadística como herramienta en: pruebas de laboratorio y ensayos con colorantes y fibras químicas, para el control en el tratamiento de aguas residuales, para la predicción del comportamiento de los tejidos, para la predicción del comportamiento del *'peeling'*, y para la medición del color como parámetro de calidad, . . . Lo que denota un uso común en las investigaciones desde la universidad.

Las líneas que los diversos institutos consultados, AITEX y CID-CSIC, apuntaron son las siguientes:

- en la aplicación sobre el proceso se comentó: el uso de gráficos de Pareto, la inspección al 100 % en el repasado, y el control de procesos por parte de algunas empresas.
- en el laboratorio se está utilizando: el diseño de experimentos para optimizar los procesos de hilatura y tintura, y en algunos ensayos de laboratorio.

También se informó que se habían realizado algunos cursos sobre el Control Estadístico de la Calidad. En este caso, no se utilizan tanto las herramientas estadísticas, aunque se hace un papel de difusión importante hacia las empresas.

Los laboratorios textiles consultados, Laboratori d'Anàlisi textil L.A.T.S. y el Laboratorio de Ensayos e Investigaciones Textiles del Acondicionamiento Terrasense L.E.I.T.A.T., utilizan la estadística como herramienta que se recomienda utilizar en los ensayos de normalización y certificación.

Contactando con algunas empresas y con los especialistas de la Asociación Española de la Calidad (A.E.C.) en su sección textil, se constató que el uso de la estadística en los procesos industriales de la industria textil de la

pequeñas y medianas empresas en estos momentos es casi nulo, puesto que se considera un instrumento complejo. Como ya se ha comentado esto viene producido por el desconocimiento que existe.

Para analizar toda la información obtenida se apunta una premisa dada por el profesor Barella: *... debe tenerse en cuenta desde el principio, que el Control de la Calidad, no se halla limitado a una serie de reglas basadas en Métodos Estadísticos con cuya aplicación los problemas se resuelven más o menos automáticamente. Las técnicas del Control de Calidad comprenden no solo factores de tipo matemático, sino también tecnológicos, psicológicos, de costes y de organización; de tal forma que el primero queda relegado al papel de simple herramienta, ciertamente valiosa, para desarrollar ciertas fases del total pero cuya aplicación, si no va acompañada de una política adecuada, es insuficiente por si misma para obtener los resultados óptimos que deben ser los objetivos de una empresa moderna. (A. Barella, 1972).*

Pasados ya 33 años estas palabras continúan siendo actuales, y como se apunta el uso de la estadística es un factor importante para obtener, controlar y mejorar la calidad, pero hemos podido constatar que en la realidad se le da mucha más importancia a los otros aspectos apuntados y que su uso está poco extendido. Es en las décadas de los 60-70 donde se hace más hincapié en la utilización de los Métodos Estadísticos para el control y la mejora. Pienso que este hecho, junto con su enseñanza por parte de las universidades apuntadas, tendría que haber ayudado a la extensión del uso pero en la actualidad es utilizada comúnmente solo en el campo experimental, en algunos institutos y laboratorios, pero en cambio en el sistema de fabricación su aplicación es prácticamente nula.

Si se define la calidad como *la consecución de la satisfacción de los clientes con el menor coste posible*, podemos encontrar una de las causas para explicar el poco uso, ya que se cree que las técnicas estadísticas aumentan el coste de la calidad y son difícilmente aplicables. En cambio se piensa que gracias al nivel tecnológico que existe en estos momentos en el proceso productivo textil no sería tan costoso, puesto que se dispone de la esencia de la estadística, los datos. Además sería necesario formar a la plantilla con los

2.3. La aplicación de la Estadística en el sector textil

conocimientos básicos necesarios para su uso, desde la práctica y en su lugar de trabajo.

Se ha podido constatar que este campo de investigación ha sido trabajado en algunos momentos intensamente, pero en la actualidad no hay una investigación práctica excepto en los casos comentados.

Este hecho, junto con las claves comentadas en los puntos anteriores, son los fundamentos en los que se ha querido sustentar la necesidad de realizar esta tesis. En los capítulos siguientes se desarrollarán las dos propuestas que se han realizado para aproximar las herramientas estadísticas al entorno más próximo y así contribuir a la mejora de la zona.

Capítulo 3

Análisis Sensorial en el control y la mejora de procesos

3.1. Introducción: El Análisis Sensorial

Se denomina Análisis Sensorial (A.S.) *al examen de las propiedades organolépticas (olor, sabor, textura, etc.) de un producto realizable con los sentidos (UNE 87001:1994)*. La palabra sensorial (relativo a los órganos de los sentidos) se deriva del latín *sensus*, que quiere decir sentido.

Se tiende a creer que la única manera de obtener información fiable sobre las características de un producto, para obtener resultados reproducibles y analizables estadísticamente, es aplicando métodos de ensayo científicamente exactos. El análisis sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, micro-biológicos, etc. En este tipo de análisis la persona es el propio instrumento de medida por lo que tiene la ventaja de llevar consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea: sus cinco sentidos. Esta utilización particular de los sentidos necesita de protocolos, test rigurosos y métodos con el fin de obtener resultados fiables y analizables de forma que nos permitan tomar decisiones en base a ellos.

El análisis sensorial fue desarrollado durante los años 30 para paliar la ausencia de métodos instrumentales eficaces en el sector agro-alimentario.

Las pruebas sensoriales son utilizadas en diversos tipos de industrias, tales como la industria alimentaria, la perfumería, la farmacéutica, la textil, la industria de pinturas y tintes, etc... Las primeras metodologías fueron publicadas en Estados Unidos en 1964. Después en 1984 aparece la revista especializada 'Journal of Sensory Studies'. En nuestro país esta disciplina no está presente hasta 1972, pero no es hasta el año 1990 cuando se constituye el Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 87 'Análisis Sensorial' de AENOR. Desde entonces este comité ha elaborado las normas españolas UNE, siguiendo las directrices de ISO y aportando iniciativas propias, para los casos del aceite (UNE 87021:1992) y del vino (UNE 87022:1992).

Existe una idea equivocada, muy generalizada, de que los análisis deben llevarse a cabo en un laboratorio químico, físico,... con probetas, aparatos de destilación o extracción, microscopios, espectrofotómetros, cromatógrafos, y otros aparatos objetivos, por lo que se tiende a menospreciar al análisis sensorial. Sin embargo, las técnicas de evaluación sensorial son tan científicas como las de los otros tipos de análisis, y están fundamentadas en la estadística, la psicología, la fisiología y otras ramas de la ciencia. Éstas han permitido entre otras cosas controlar la calidad, desarrollar nuevos productos, realizar estudios de mercado o definir denominaciones de origen. De forma general, se pueden distinguir entre dos tipos de pruebas, los test hedónicos, que permiten determinar las preferencias del consumidor a corto y largo plazo, y los test analíticos, que permiten precisar la naturaleza y la intensidad de las diferencias observadas entre un conjunto de productos a partir de descriptores. En resumen, son utilizadas para traducir las preferencias de los clientes y consumidores en propiedades bien definidas.

Los sentidos son los medios con los que el ser humano percibe y detecta el mundo que le rodea. De los cinco sentidos son el olfato y el gusto los que más han sido utilizados en el análisis sensorial por su uso en el sector alimenticio. En este trabajo se quiere prestar atención a las evaluaciones que se pueden realizar a productos textiles mediante el tacto y la vista. En la siguiente tabla 3.1 se puede ver para algunos de los sectores industriales cuales son los sentidos que se suelen utilizar más a menudo:

3.1. Introducción: El Análisis Sensorial

Sector	Vista	Oído	Olfato	Gusto	Tacto
Alimentación	X		X	X	X
Automoción		X	X		X
Textil	X		X		X
Cosméticos	X		X		X

Tabla 3.1: Sentidos más utilizados por sector

A continuación se expondrán, de forma general, los objetivos que se pueden alcanzar mediante el uso del análisis sensorial. En el apartado 3.3 se describe la clasificación de los diversos ensayos que se suelen utilizar, así como las escalas que se utilizan habitualmente. En el apartado 3.4 se revisan las técnicas de análisis sensorial que se utilizan en el sector textil, y por último, en el apartado 3.5 se exponen las metodologías propuestas para controlar y mejorar productos y procesos textiles mediante el uso de las herramientas de análisis sensorial.

3.2. Objetivos del A.S.

Para llevar a cabo el análisis sensorial de un producto, en primer lugar se ha de determinar los objetivos que se persiguen mediante la evaluación sensorial. Estos objetivos se dividen en dos grandes bloques, aquellos que buscan que el producto examinado sea agradable para el consumidor y los que pretenden conocer las características sensoriales. Como se verá en el punto siguiente están estrechamente ligados a los ensayos y escalas que se utilicen. Se pueden distinguir dos objetivos bien diferenciados:

- a. Medir la calidad hedónica del producto evaluado. Se pretende evaluar la reacción afectiva a un producto que tienen los consumidores. En éste tipo de evaluación sensorial se pueden distinguir a su vez cuatro objetivos distintos según lo que se persiga:
 - Medir el grado de aceptación de una muestra de consumidores.
 - Medir la intensidad del placer de los consumidores.
 - Realizar un examen para la consecución de un punto ideal en el producto.
 - Establecer las preferencias de un grupo de consumidores sobre uno o varios productos distintos.

 - b. Medir la calidad sensorial del producto. Se quiere estudiar la medidas ligadas a la percepción sensorial. En este caso se pueden distinguir, a su vez, tres tipos distintos de objetivos:
 - Investigar las diferencias o similitudes generales de percepción sensorial entre productos. En este caso se recurre a la medidas y métodos discriminantes.
 - Describir las percepciones sensoriales de un artículo en cuanto a su caracterización natural y en su intensidad. Para establecer este objetivo se recurre a los llamados perfiles sensoriales.
-

3.2. Objetivos del A.S.

- Medir las cualidades de los sujetos en materia de percepción sensorial. Los métodos que se utilizan son los ensayos de conocimientos o la creación de umbrales de percepción y de identificación.

3.3. Ensayos y escalas para A.S.

Para alcanzar alguno de los objetivos planteados en un análisis sensorial, se utilizan diversas clases de ensayos. Los ensayos se pueden clasificar en tres grandes bloques: el primero se utilizará para medir la calidad hedónica del producto y los dos siguientes para medir la calidad sensorial. La clasificación de los ensayos es:

- a. Ensayos hedónicos: Estos ensayos están centrados en la reacción de tipo afectivo (placer, desagrado, preferencia, . . .) de un grupo de consumidores frente a una o varias muestras de productos. Éstas percepciones hedónicas dependen de:
 - El producto: los aspectos que se han de tener en cuenta son, entre otros: las características sensoriales, la cantidad presentada, la diversidad de estímulos, la complejidad del estímulo, . . .
 - La situación del sujeto: en particular, se han de considerar sus experiencias anteriores, su estado psicológico en el momento del ensayo (sensación de hambre, de cansancio, etc), conocimientos previos, postura tomada, . . .
 - Las condiciones de experimentación: entre otros factores influyen el tipo de test, el medio ambiente, el modo de presentación, la presencia de personas, . . .

Entre los ensayos hedónicos se pueden distinguir cuatro tipos distintos:

- a) Ensayos de preferencias: permiten comparar varias muestras de productos sobre un plan hedónico y de clasificación. Estos se utilizan para poner en marcha un producto, evaluar la evolución de la calidad hedónica durante la duración, comparar con otros productos y para estudiar la reacción de los consumidores.
 - b) Ensayos de evaluación de la intensidad de placer: permiten medir la intensidad de placer al consumir o utilizar un producto. Su usos son similares a los ensayos anteriores.
-

3.3. Ensayos y escalas para A.S.

- c) Ensayos de notación en referencia a un ideal: permiten determinar el nivel ideal de una característica sensorial simple. Solo se usa cuando se pone en marcha un nuevo producto y para estudiar las reacciones de los consumidores.
- d) Ensayos de aceptación: permiten estudiar si un producto será consumido o no en función de sus propiedades organolépticas. Estos ensayos se suelen utilizar para estudiar las reacciones de los consumidores, estudiar la evolución de las características hedónicas durante el tiempo de vida del producto y para su puesta en marcha.

b. Ensayos de diferenciación

Existen numerosos tipos de ensayos, pero estos se pueden enmarcar dentro de dos grandes grupos según el uso que se le de al ensayo:

- a) Para determinar el umbral: Son aquellos ensayos que son utilizados para determinar a partir de que intensidad un grupo de sujetos percibirán una característica. En las distintas etapas de vida de un producto estos ensayos son utilizados para estudiar las interacciones entre el producto y el embalaje o para estudiar las cualidades sensoriales durante el tiempo de vida del producto.
- b) Para medir diferencias o similitudes: sirven para verificar si un grupo de sujetos perciben o no diferencias entre las muestras. Este tipo de pruebas tienen numerosas aplicaciones entre ellas podemos destacar el controlar la conformidad de las materias primas o controlar la conformidad del producto en su fabricación, además de algunas de las que ya han sido nombradas con anterioridad.

c. Ensayos descriptivos

Las pruebas descriptivas permiten describir las naturaleza y la intensidad percibidas de una o varias propiedades sensoriales. La descripción de un conjunto de percepciones sensoriales va ligada a uno varios sentidos o a un conjunto de características particulares de un producto.

A esto se le denomina *perfil sensorial*. Se pueden distinguir dos tipos de perfiles, perfiles parciales, donde se estudia solo algún aspecto del producto o un solo sentido, y perfiles globales, en los que se realiza una descripción exhaustiva del conjunto de características sensoriales de un producto. Este tipo de pruebas pueden ser utilizadas en varias etapas del tiempo de vida de un producto, como por ejemplo en estudio de la interacción producto/embalaje, en el control de material de materias primas, en el estudio de la evolución de la calidad sensorial o en la comparación con otros productos similares.

Al igual que existen diferentes tipos de ensayos, hay diferentes tipos de escalas que se pueden utilizar, bien para expresar la intensidad percibida en un atributo (dulzura, dureza, suavidad, . . .) o bien para medir la reacción frente al atributo (demasiado blando, muy duro, correcto, . . .). Para elaborar las escalas se pueden utilizar tanto números como palabras, que deben de ser codificadas para su posterior tratamiento estadístico.

La validación y la confiabilidad de las técnicas de escala dependen principalmente de:

- La selección de la técnica de escalado que debe ser lo suficientemente ancha para abarcar todo el rango de la intensidad del parámetro y lo bastante distintas para recoger todas las pequeñas diferencias de intensidad entre las muestras.
- La definición de los distintos niveles que debe servir a los evaluadores para aprender la relación entre una sensación particular con el atributo que ha sido escalado.
- La graduación pues debe servir a los miembros del panel para entrenarse a utilizar la escala en el mismo sentido para todas las muestras.

La selección de la escala para ser utilizada en una prueba en particular es una de las diversas tareas que necesita ser llevada a cabo antes de implementar el test. Sin embargo, la identificación de los objetivos, la capacitación de

3.3. Ensayos y escalas para A.S.

sujetos y los requerimientos del producto al tener mayor importancia deben preceder a la selección de la escala. Previo a la elección definitiva de la escala se debe conocer los objetivos de la prueba y el tipo de información que se desea. Hay que tener en cuenta antes de elegir la escala:

- Importancia de las medidas. Las palabras que se utilicen para las preguntas y las respuestas de las escalas deben ser familiares, fáciles de comprender, y no ambiguas para las personas que participen en la prueba.
- Facilidad de uso. Las tareas y las escalas deben ser fáciles de usar, si no es así pueden frustrar a los sujetos, e incrementar el error de medida.
- Insesgado. Idealmente, la escala debe ser un instrumento neutro que no influya en los resultados de la prueba.
- Relevante. Las escalas deberían medir los atributos, características, actitudes, que intentan medir, por ejemplo, las escalas de preferencia deben medir preferencias y las escalas de calidad deben medir calidad, y no es conveniente que interfiera una sobre la otra. Si la escala no es relevante simplemente no se usa.
- Sensible a las diferencias. No todas las escalas son igual de sensibles a las diferencias de medidas. La longitud de la escala y el número de categorías son aspectos relevantes para controlar este efecto.
- Uso de los métodos estadísticos. El análisis estadístico es importante para determinar qué resultados son los mas probables debidos a cambios o algunos tratamientos o variables. El más importante de ellos que se puede aplicar, y la mayoría de ellos, identifican los hechos más significativos.

Una posible clasificación (Stevens, 1951) de los diferentes tipos de escala son:

- a. Escala Nominal:

La medida con una escala nominal asigna números que se usan para etiquetar o identificar sujetos u objetos. Las escalas nominales, también conocidas como escalas de categoría, proporcionan el número de ocurrencias en cada clase o categoría de la variable que se está estudiando. Por tanto, los números o símbolos asignados a los objetos no tienen más significado cuantitativo que indicar la presencia o ausencia del atributo o característica bajo investigación. Se utiliza en las pruebas de clasificación.

b. Escala Ordinal:

Las escalas ordinales representan un nivel superior de precisión de la medida. Las variables pueden ser ordenadas o clasificadas con escalas ordinales en relación a la cantidad del atributo poseído. Cada subclase puede ser comparada con otra en términos de una relación de "mayor que" o "menor que". Por ejemplo, los diferentes niveles de satisfacción del consumidor individual con diferentes productos nuevos puede ilustrarse en una escala ordinal. Los números utilizados en escalas ordinales como éstas no son cuantitativos, dado que indican sólo posiciones relativas en series ordenadas. No hay medida de cuánta satisfacción recibe el consumidor en términos absolutos, el investigador ni conoce la diferencia exacta entre puntos de la escala de satisfacción. Se utiliza en las pruebas de ordenación.

c. Escala de Intervalo:

Esta escala tienen unidades constantes de medida, de tal forma que las diferencias entre dos puntos adyacentes de cualquier parte de la escala son iguales. La escala de intervalo tiene un punto cero arbitrario, mientras que las escalas de razón tienen un punto de cero absoluto. Las escalas de intervalo más familiares son las escalas de temperatura Celsius y Fahrenheit. Ambas tienen un punto de cero arbitrario, pero ese cero no indica una cantidad cero o ausencia de temperatura, dado que podemos registrar temperaturas por debajo del punto cero de esa

3.3. Ensayos y escalas para A.S.

escala. Por tanto, no es posible decir que un valor cualquiera situado en un intervalo de la escala es un múltiplo de cualquier otro punto de la escala. Este tipo de escala se utiliza en pruebas de medidas de magnitudes en las que se asuma distancias iguales entre puntos de la escala.

d. Escala de razón:

Las escalas de razón representan la forma superior de medida de precisión, dado que poseen las ventajas de todas las escalas inferiores más un punto de cero absoluto. Con las medidas de escala de razón se permiten todas las operaciones matemáticas. Este tipo de escala se utiliza también para medir magnitudes pero en este caso asumiendo la igualdad de ratios (proporciones) entre puntos.

3.4. El A.S. en el sector textil

De todos los sectores industriales, será probablemente el sector textil el que más experiencia tenga en la evaluación del tacto ya que la sensación táctil es un elemento determinante en la calidad de los tejidos. Estas evaluaciones por lo general se realizan de forma subjetiva, dependiendo de cada individuo, pero no faltan los ejemplos en los que se intenta objetivizar las percepciones. La necesidad de evaluar características de los tejidos de forma objetiva llevó a Kawabata, por los años 80, a desarrollar herramientas de medida para evaluar las interacciones térmicas y mecánicas entre la piel y la tela. De esta forma Kawabata et al. (1982) y Postle (1984) crearon el *Kawabata Evaluation System (KES)*, un sistema de tests sofisticado que permite describir 16 parámetros de propiedades mecánicas y de superficie del tejido analizado. A partir de este momento se han ido creando nuevos sistemas que intentan caracterizar el tacto de los productos textiles como el desarrollado en Australia, el *Fabric Assessment System for textiles (FAST)* (De Boos A. G., 1991). Estas herramientas se desarrollan coincidiendo con el incremento del nivel de automatización, el cual demanda un mayor control y predicción en los tejidos durante su producción (Dobner, 1989).

Pero estos instrumentos no pueden llegar a sustituir el tacto del ser humano, ya que como comenta Flora Philippe del Laboratorio de Física y Mecánica textil de Francia, *estas evaluaciones objetivas no llegan a satisfacer plenamente porque el tacto es un fenómeno complejo, puesto que implican la capacidad del ser humano de percibir sensaciones precisas y discriminantes e integrarlas sobre una forma de juicio global* (Philippe F., 2001).

Como se ha comentado, la evaluación de las propiedades organolépticas de los productos textiles es algo inherente a los propios tejidos. En la mayoría de ocasiones, son utilizados como prendas o complementos para las personas, en las que el comprador evaluará su calidad dependiendo de determinadas características sensoriales. Por ejemplo, sería muy raro el hecho de comprar una camisa áspera o una manta rugosa. El consumidor utilizará el tacto como herramienta para evaluar las percepciones que la prenda le

ofrece. Por otra parte el fabricante también intenta controlar las características sensoriales de sus productos porque de éstas puede depender la calidad del artículo. Los trabajos sensoriales, en la mayoría de los casos, se realizan sin ninguna sistemática ni ninguna metodología¹, y dependen fundamentalmente del gusto del operario que realiza la prenda. Esto, a la larga puede acarrear numerosos problemas puesto que no se posee un estándar, ni un método consensuado para evaluar pudiendo producirse grandes variaciones en las valoraciones de un mismo producto. Además hay que añadir el hecho que el aprendizaje sensorial no es una tarea fácil, requiere un entrenamiento y tener cierta destreza, ya que no todas las personas sirven para realizar las evaluaciones. En la actualidad el sector textil de las zonas tradicionales de producción posee personas con gran experiencia que realizan estas tareas, que las han aprendido después de muchos años de profesión, pero que en el corto plazo muchas de ellas deberán jubilarse, con la consiguiente pérdida de conocimiento y de experiencia. Esto no hará sino más que agravar el problema que en estos momentos tiene este sector en zonas de producción tradicional.

Para poder abordar estos problemas, a los que se enfrenta parte del sector, en primer lugar se hará una revisión de las técnicas y normas que se estén utilizando en estos momentos en el sector textil en relación con el análisis sensorial de productos textiles. Por otro lado se nombrarán las normas más destacables que se utilizan en Análisis Sensorial, en este caso por lo general son utilizadas en el sector agro-alimentario y en menor grado en el sector automovilístico, ya que no existe normativa exclusiva para el sector textil. En los puntos siguientes se desarrollarán las propuestas realizadas para el control y la mejora de algunos procesos textiles mediante el uso de herramientas de Análisis Sensorial.

¹No se debe interpretar que los trabajos no se realizan de forma estructurada.

3.4.1. Técnicas y Normas de A.S. para el textil

En lo referente a normas exclusivas que se estén utilizando en estos momentos por la industria textil y en la que se haga uso de técnicas de análisis sensorial se puede decir que éstas son bastante escasas. La gran mayoría se deben realizar en un laboratorio o local habilitado para ello, exceptuando el caso de la catalogación de defectos que se debe realizar a pie de máquina o en el almacén. Una posible clasificación de estas normas según el tipo de valoración que se utiliza es:

- Valoraciones que utilizan escalas y categorías:

Este tipo de normas tienen en común que para evaluar el orden o magnitud de las diferencias, categorías o defectos se debe realizar una comparación visual con una escala o catalogo que ya está estandarizado. Los diferentes tipos de escala que se pueden destacar son:

a. Escala de Grises:

Según la norma UNE-EN ISO 105-A08:2003 se define una escala de grises como: *Serie de pares de muestras coloreadas en tonos neutros, tales que un par no muestra contraste alguno y los otros pares muestran un contraste creciente. Esta escala se utiliza para la evaluación visual del contraste entre pares de probetas formadas por la probeta de ensayo y la de referencia (por ejemplo en el ensayo de solidez del color) con el fin de asignar un índice numérico.* Las normas que utilizan la escala de grises se utilizan para comprobar la solidez de los tintes. Las escalas que utilizan son escalas tipo Likert de 5 puntos (1-5) existiendo para cada prueba un valor mínimo que en caso de no ser alcanzado se concluirá que el tinte *descarga* excesiva tinta o que ésta se *degrada*, dependiendo del tipo de prueba utilizada. En caso de alcanzar el mínimo establecido se concluirá que el tinte es *sólido*. Hay que advertir que existen dos tipos de escalas de grises, una para evaluar la degradación del color de la probeta (Norma UNE-EN 20105-A02:1998)

3.4. El A.S. en el sector textil

y otra para evaluar la descarga del color de la probeta sobre un tejido testigo (Norma UNE-EN 20105-A03:1998). Las normas que se pueden resaltar, por el uso que hacen de este tipo de escalas son: UNE-EN ISO 105-DO2:1996 *Solidez de las tinturas al frote: Disolventes*, UNE-EN ISO 105-C06:1997 *Solidez de las tinturas al lavado doméstico y comercial*, UNE-EN ISO 105-D01:1996 *Solidez de las tinturas al lavado en seco*. Existe un conjunto de normas UNE que también utilizaban escalas de grises como método de valoración, y en estos últimos años han sido anuladas para su adaptación a la normativa internacional, éstas son: UNE 40099 Solidez del color al frote y UNE 40030 Solidez de las tinturas al planchado, que han sido sustituidas por la normas UNE-EN ISO 105-X12:1997 y UNE-EN ISO 105-X11:1997, respectivamente. En las fotografías se pueden ver dos escalas diferentes de grises, una para medir la solidez (3.1(a)) y otra para medir la descarga (3.1(b)).



(a) Solidez



(b) Descarga

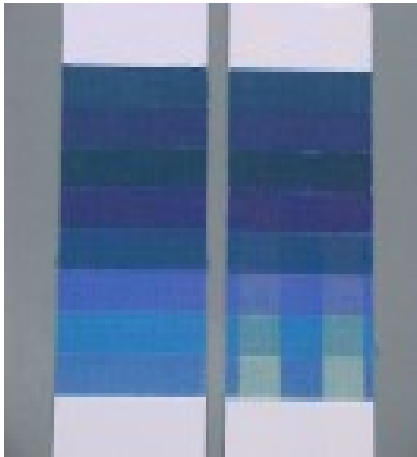
b. Escala de intensidades normalizadas

La norma UNE-EN ISO 105-A08:2003 define esta escala como: *cada uno de los conjuntos de muestras patrón coloreadas, tales*

que los elementos que lo componen tienen claridad, croma y tono diferentes pero se considera que tienen la misma intensidad, y mediante cuales es posible comparar la tintura, la solidez y otras propiedades de los colorantes según un criterio uniforme. En aplicaciones textiles, las series más utilizadas se designan como intensidades normalizadas 1/25, 1/12, 1/3, 1/1 y 2/1 (donde cada múltiplo expresa la relación de la intensidad de la serie con la intensidad normalizada 1/1), y las series de intensidades normalizadas de azules marino y negro. Éstas escalas se utilizan en el caso de normas que evalúan la solidez de la tintura pero en esta ocasión para estudiar su resistencia a la luz. El test más utilizado es aquel que de forma visual, y después de someter a la muestra a exposición, se hace una comparación con una escala estandarizada de distintas tonalidades de azul dividida en 8 punto (1-8). El mínimo que se establece para no concluir que la tinta descarga en exceso y que tiene una solidez aceptable es de 4 puntos. Estas pautas se utilizan en las normas como UNE-EN ISO 105-B01:2000 *Solidez del color a la luz: Luz del día* y UNE-EN ISO 105-B02:2002 *Solidez del color a la luz artificial: Lámpara de arco de Xenon*. En la fotografía (3.1(c)) se puede ver un ejemplo de una escala de azules.

c. Escalas de muestras estándar numeradas *Pilling*

La norma que utiliza éste tipo de escala es la UNE-EN ISO 12947-4:1999 y su objetivo es la evaluación del cambio del aspecto. El funcionamiento de la prueba es el siguiente: se somete al tejido a un frotamiento de forma continuada durante cierto tiempo, para después hacer una comparación visual con un patrón con una escala 1-5 definida por EMPA (*Swiss Federal Laboratories for material testing and Research*). REFERENCIA Si se obtiene un puntuación mínima entre 3-4 se concluirá que el tejido tiene un comportamiento apto. En la fotografía (3.1(d)) se puede observar una muestra para medir el pilling de los tejidos.



(c) Azules



(d) Pilling

d. Catálogo de defectos

Para este tipo de valoración no existe una norma ni nacional ni internacional concreta que la utilice, pero sí que muchas empresas utilizan catálogos de defectos. En general son elaborados por las propias empresa en colaboración con las universidades y los laboratorios textiles. Un ejemplo muy cercano es el *Catálogo de Anomalías generadas en Procesos Textiles* elaborado por la Sección Textil de la Asociación Española de la Calidad, con la colaboración de numerosas empresas, la Agrupación Empresarial Textil Alcoyana y el departamento de Ingeniería textil y papelera de la Universidad Politécnica de Valencia, entre otros (AEC, 2003).

- Valoraciones descriptivas o analíticas: Las pruebas que utilizan este tipo de valoraciones tienen como objetivo caracterizar cualitativa y cuantitativamente uno o más atributos sensoriales, pudiéndose llevar a cabo con una o más muestras. La mayor parte de ellas son análisis objetivos. Algunas de las aplicaciones de este tipo de valoración son:
 - a. Resistencia a la abrasión: La norma que define esta valoración es la UNE-EN ISO 12947:1999, las partes segunda y tercera. La

primera de éstas es para determinar la rotura de las probetas que son sometidas a frotamiento y la segunda para determinar la pérdida de masa de los tejidos.

- b. Filoplano: Esta herramienta permite controlar la calidad del hilo, midiendo su aspecto, evaluado mediante la vista y de una forma subjetiva.
- c. Identificación de fibras: Existen varias normas relacionadas con el análisis e identificación de fibras. Una de ellas es la UNE 40054:1958 *Identificación y clasificación de las fibras en estado puro, por el procedimiento de flotación*. Siendo la otra norma más utilizada la UNE 40110:1994 *Análisis químico cuantitativo y análisis cuantitativo por separación manual para mezclas binarias de fibras*. Como se ha comentado al inicio estas pruebas son objetivas, no teniendo ningún interés para el estudio que se presenta.

En las normas y técnicas explicadas se ha de resaltar, que en aquellas en las que se deben utilizar los sentidos para evaluar, es el sentido de la vista el que predomina, no habiendo ninguna en la que se utilice el tacto como herramienta de evaluación.

Se puede afirmar que no existe una normativa internacional para el tratamiento sensorial de tejidos pero en cambio, en el sector de la automoción cada una de las grandes empresas productoras de automobiles, tienen sus propias normas para evaluar los tejidos y materiales que son utilizados en los coches. Entre otras se pueden destacar las normas para evaluar el olor y/o el tacto (Volvo STD 1027-2712 y VDA 270, Ford FLTM BO 131-01 y DPT ME2, VOLKSWAGEN PV3900 y VW 501-80, RENAULT D49 1977,...)

En cuanto a las normas referentes exclusivamente al análisis sensorial, como ya se ha comentado utilizadas normalmente en alimentación, se destacarán las siguientes:

- Referentes a la terminología a utilizar. La norma existente para este objeto es la UNE 87001:1994 *Análisis Sensorial. Vocabulario*. En ella se puede encontrar diferentes términos y definiciones siendo aplicable
-

a cualquier sector industrial en el que se realicen evaluaciones de los productos por medio de los sentidos.

- Referentes a la metodología y las pruebas. Son varias las normas existentes. Todas las normas son un conjunto de pruebas y métodos que permitirán evaluar sensorialmente los productos objetos de estudio. Existen tres tipos diferentes de pruebas:
 - a. Pruebas de diferencias: Permiten identificar si hay alguna diferencia sensorial entre dos productos. Dentro de estas se destacan las siguientes: UNE 87005:1992 *Prueba de comparación por parejas*, UNE 87006:1992 *Prueba triangular*, UNE 87010:1992 *Prueba dúo-trío*, UNE 87016:1986 *Prueba 'A' 'No A'*.
 - b. Pruebas en las que se usan escalas y categorías: Se utilizan para evaluar el orden o magnitud de las diferencias, categorías o clases que deben atribuirse a las muestras presentadas. Las pruebas que se pueden destacar son: UNE 87020:1993 *Evaluación de los productos alimentarios por métodos que utilizan escalas*, UNE 87023:1995 *Ensayo de clasificación por ordenación*.
 - c. Pruebas descriptivas o analíticas: Se utilizan para caracterizar cualitativa y cuantitativamente uno o más atributos sensoriales. Las pruebas que se pueden resaltar son: UNE 87017:1992 *Método para establecer el perfil olfato-gustativo*, UNE 87025:1996 *Perfil de textura*, UNE 87027:1998 *Perfil sensorial por métodos multivariantes*, UNE 87030:2002 *Método de estimación de la magnitud*.
- Referentes a la selección y formación de jueces. Estas normas tienen gran importancia puesto que permitirán seleccionar a las personas que realizan la valoración. Para su elección hay que tener en cuenta las pruebas que posteriormente se vayan a utilizar, la regularidad y la fiabilidad de las respuestas. Las normas destacables en este aspecto son la UNE 87024:1995 *Guía general para el entrenamiento y selección de jueces*, parte I para Catadores y parte II para expertos.

- Referente al lugar donde realizar las pruebas. Para la realización de las pruebas suele recurrirse a laboratorios o salas especialmente preparadas. Deben estar en buenas condiciones de humedad, temperatura, luz y calma. Esto se realiza con el objeto de crear para cada analista un entorno aislado con la mínima distracción.

Una vez expuestas las normas que se utilizan en el textil en referencia al análisis sensorial, así como las normas más utilizadas en otros sectores, a continuación se desarrollarán las propuestas hechas para el sector textil.

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

En este apartado se van a proponer el uso de técnicas de Análisis Sensorial como herramienta que nos permita controlar y mejorar la calidad de productos textiles. Con la incorporación y sistematización de las técnicas de análisis sensorial se pueden alcanzar los siguientes objetivos:

- Crear un sistema estandarizado de control.

Si se incorporan herramientas de análisis sensorial en el sistema de producción se crea un sistema de medidas y un método de operar. Permitirá la instalación de un modo de comunicación entre las distintas etapas por las que pasa el producto, conociendo a la evolución de las características en cada momento a lo largo de su producción, de forma que servirá como base de un vocabulario para todos los profesionales implicados. Si esto fuera asumido por varias empresas permitiría una comunicación entre ellas.

- Mejorar el proceso.

La introducción de las técnicas propuestas dentro del sistema de calidad conllevarán a la mejorar del proceso puesto que se llevará un control continuo del producto, pudiéndose detectar cualquier tanto las anomalías en el proceso como las posibles mejoras que haya que incorporar.

- Facilitar el aprendizaje.

Mediante la sistematización de estos métodos se facilitará el aprendizaje a las personas que se incorporen de nuevo. Ésta lleva consigo un proceso de entrenamiento sensorial que actualmente no se lleva a cabo, y sólo se consigue ser un experto después de muchos años de trabajo.

- Optimizar el producto.

Mediante el uso del análisis sensorial se conseguirá mejorar las prestaciones de producto y disminuir su variabilidad de las características

organolépticas que se midan, así como optimizar el rendimiento de éste. Estos instrumentos de análisis permitirán entender que parámetros (materiales, puntos de fabricación, procedimientos, . . .) son susceptibles de modificar las características, por lo general táctiles, del producto.

- Aumentar la fidelidad de proveedores y consumidores.

Tener establecidas las especificaciones de las características organolépticas del producto permitirán tener una relación bien definida entre el cliente y el proveedor. También permitirá establecer los elementos sensoriales necesarios para satisfacer las demandas que los consumidores quieren de los productos fabricados.

Basándonos en la normativa existente sobre análisis sensorial, se expondrá a continuación la metodología propuesta para incorporar en un proceso textil un sistema de control de la producción para artículos donde sea imprescindible el uso de los sentidos para comprobar la calidad del producto. Por último se propone utilizar el A. S. para la mejora de las propiedades táctiles de productos textiles.

3.5.1. A.S. en el proceso de producción

Son varios los procesos textiles en los que, aunque se utilice maquinaria, se hace imprescindible el uso de los sentidos para controlar la calidad de los productos. Estos procesos se podrían definir de *producción artesanal* puesto que dependiendo de la destreza de la persona que está controlando la maquinaria se obtendrá el producto con unas cualidades u otras. Es en estos procesos donde se hace necesario la incorporación de una metodología que incorpore una sistemática que ayude a controlar y estandarizar la calidad del producto, puesto que es necesario que la calidad del producto sea homogénea en cuanto a sus características sensoriales.

Uno de los objetivos que se persigue con la implantación de una metodología de seguimiento sensorial del producto en el proceso de producción es el controlar y saber reaccionar, en el corto plazo, sobre los parámetros de fabricación con el fin de dominar la producción. Con ello se conseguirá tener una herramienta de toma de decisiones rápida y eficaz, de forma que se aporte a los operarios de la destreza e independencia necesaria para actuar conforme a los parámetros de calidad previamente establecidos. Mediante la aplicación correcta esta herramienta se obtendrán datos sensoriales lo suficientemente sólidos para que los operarios puedan tomar decisiones que conduzcan: a continuar la fabricación, a modificar los parámetros de fabricación o, en el peor de los casos, a paralizar la fabricación. Las ventajas de esta herramienta frente a posibles métodos instrumentales son: la facilidad de puesta en marcha, el bajo coste que representa y la gran cantidad de datos que se obtienen.

El análisis sensorial en el proceso de producción difiere bastante del análisis clásico puesto que hay determinados aspectos que no se pueden considerar tal y como se conciben normalmente. Las diferencias se dan en:

Las personas: Por lo general se trabaja con personas que son elegidas expresamente para realizar las pruebas, como un panel de consumidores o un grupo de jueces sensoriales, sin embargo en este caso son los propios operarios que manejan las máquinas quienes tienen que hacerse

cargo de estas tareas, o en el mejor de los casos, un grupo de tres o cuatro personas encargadas de estas tareas. Esta evaluación puede ser muy subjetiva sin un debido entrenamiento, por lo que se deben de objetivizar las decisiones entre todas las personas que vayan a realizar las evaluaciones.

El local: En el seguimiento sensorial en el punto de fabricación no se dispondrá de un local o sala de ensayos ya que el análisis se realizará a pie de máquina. En algún caso, y solo cuando sea estrictamente necesario para una mejor evaluación, se podrá disponer de alguna sala cercana al lugar donde se produce el producto.

Las muestras: No se puede hablar de que las muestras sean anónimas, aspecto que reduce posibles sesgos, puesto que se toman de los materiales que se están procesando. Estas son perfectamente identificables por la o las personas que realizan el análisis y su presentación suele ser generalmente una muestra a la vez. En ocasiones, se hará uso de muestras que sirvan de referencia para saber cual es el estado en el se encuentra en esos momentos el producto que se está elaborando.

Los métodos: Los técnicas de análisis que habitualmente se realizan en el laboratorio no se podrán utilizar. Esto no significa que no puedan analizar las evaluaciones realizadas en este caso pero sí que se utilizarán métodos muy concretos y por lo general los datos se analizarán a posteriori. En este caso no se puede hablar de ensayos, como los presentados con anterioridad, puesto que estos requieren de unas condiciones que aquí no se dan.

Además de estas consideraciones se han de tomar en cuenta dos restricciones que tiene el hacer seguimiento sensorial de un producto en el curso de su fabricación en cuanto a la toma de decisiones se refiere. Estas son:

- a. La velocidad: el tiempo entre la toma de las muestras, sus evaluación y la toma de decisión son más cortos.
-

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

- b. La frecuencia: Se han de programar las muestras que han de ser tomadas en las diferentes etapas del proceso de producto y dentro del mismo periodo de fabricación.

A continuación se expondrá la metodología que se propone para utilizar cuando se quiera realizar el seguimiento sensorial de determinados productos textiles en su proceso de producción.

3.5.2. Metodología

La propuesta metodológica que se va a realizar pretende ser una herramienta que ayude a las pequeñas y medianas empresas textiles a introducir en sus sistemas productivos métodos que les permita controlar y mejorar la calidad sensorial de los productos. Por eso, para la implantación de un sistema de control por medio del seguimiento sensorial del producto a lo largo de su fabricación se recomienda tener en cuenta las siguientes fases, como muestra la figura 3.1, que posteriormente serán desarrollados:

- a. Fase de Iniciación
 - 1) Reunión/Entrevista con expertos.
- b. Fase de Definición
 - 1) Reconocer puntos de inspección del proceso.
 - 2) Definir características sensoriales a controlar.
 - 3) Escoger muestras referencia de cada característica.
 - 4) Consensuar las características, las referencias y los puntos de inspección.
- c. Fase de Entrenamiento
 - 1) Entrenar operarios con la metodología.
 - 2) Periodo de Pruebas.

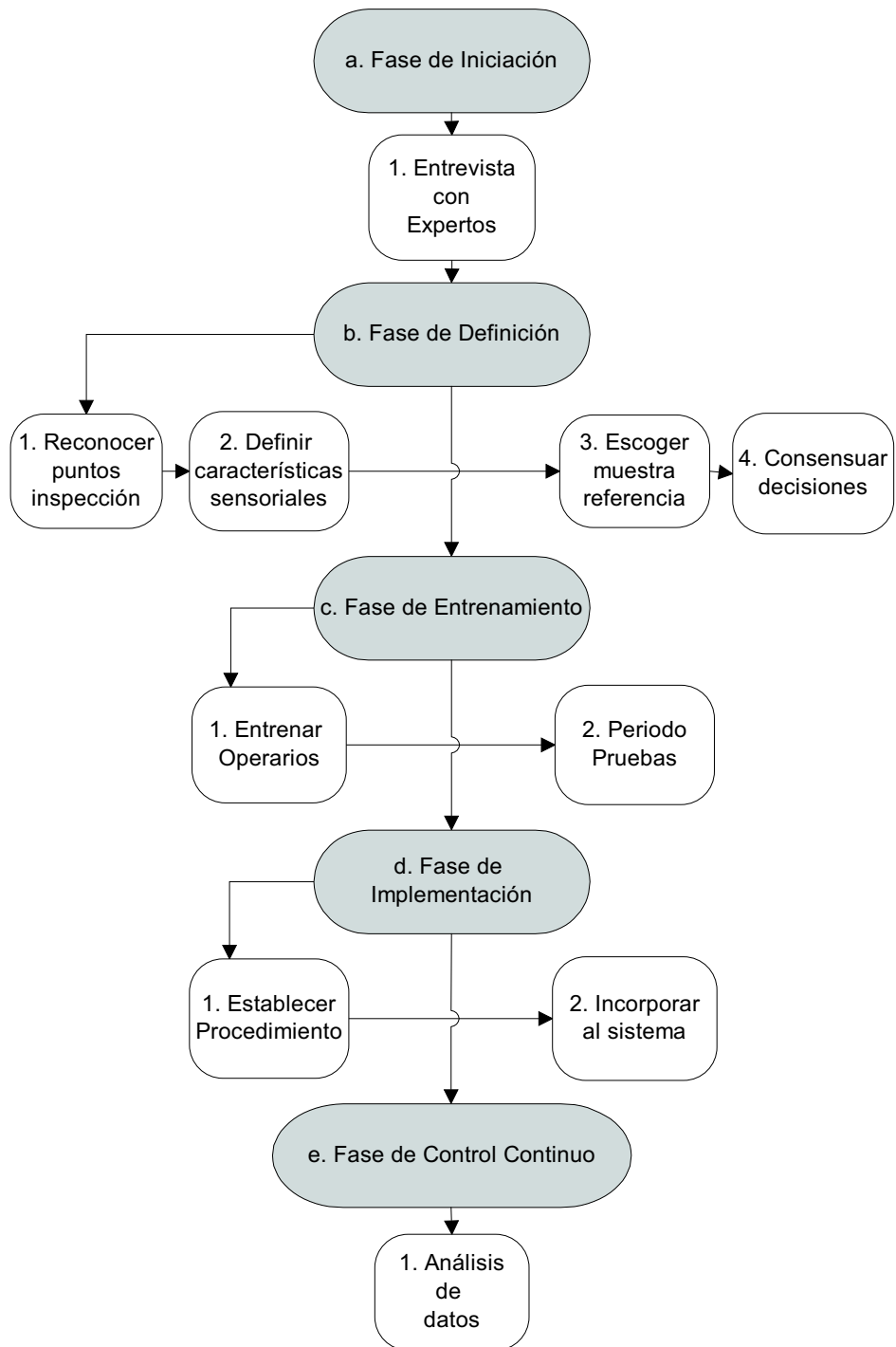


Figura 3.1: Metodología propuesta para el control sensorial en el proceso

d. Fase de Implementación

- 1) Establecer el procedimiento.
- 2) Incorporar al sistema de producción.

e. Fase de Control continuo

- 1) Análisis de datos del sistema.

A continuación se van a desarrollar cada una de las fases expuestas anteriormente, mediante la explicación de cada uno de los puntos de los que están compuestas, queriendo resaltar la aportación y el carácter innovador de la propuesta.

a. Fase de Iniciación

- 1) Reunión/Entrevista con expertos:

En este primer punto es muy importante, antes de empezar a realizar ninguna acción, que la dirección de la empresa crea en los beneficios, tanto económicos como laborales, que va a obtener. Esto es una pieza clave para el éxito de la implantación de sistemas de mejora continua, puesto que es la dirección quien tiene que encabezar siempre todo proceso de cambio y mejora. Una vez se ha convencido a los altos cargos se debe establecer una primera reunión con los responsables del producto. Aquí se debe contar desde el responsable del diseño, el de producción, el de calidad y todas aquellas personas que sus decisiones incidan sobre el proceso y el producto. No es aconsejable que se reúnan más de 6 personas puesto que con un número grande personas la reunión pierde efectividad y es más difícil llegar a consensos. El uso de técnicas como el *Brainstorming* o el *Bechmaking* permitirán, entre otras cosas: definir bien el proceso (concebido como la combinación de personas, equipos, materiales, métodos y medio ambiente), conocer que se está realizando al respecto del análisis sensorial en la empresa,

elegir el producto sobre el que actuar, elegir a las personas que mejor puedan desarrollar estas tareas,...

b. Fase de Definición.

1) Reconocer puntos de inspección del proceso:

Una vez realizadas las reuniones que se crean necesarias para un mayor conocimiento del proceso y los medios de los que puede disponer la empresa es necesario establecer los puntos críticos sobre los que se pretende actuar. En el textil, son bastante numerosos los reconocimientos sensoriales, sobre todo táctiles y visuales, que se realizan a lo largo del proceso. Habrá que considerar cuales se creen que son más importantes a la hora de definir las propiedades organolépticas del producto que se está elaborando. Es importante dejar claro sobre que puntos se va a actuar y cuales son los sentidos que se deben utilizar en cada uno de ellos para el correcto seguimiento sensorial del producto. Así como identificar los criterios de interés para cada etapa, es decir los criterios cuya variación tiene una influencia importante sobre la calidad del producto y su aceptabilidad. Estos aspectos deben ser establecidos entre el operador más experimentado y la persona encargada de la implantación del seguimiento sensorial.

2) Definir características sensoriales a controlar.

Una vez se ha establecido dónde y por medio de qué realizar la evaluación sensorial se necesita definir que características que se deben considerar. No conviene definir un gran número de descriptores o características puesto que como se ha comentado anteriormente la evaluación ha de ser lo más rápida posible y si se tuvieran que evaluar muchos aspectos retrasaría y complicaría las tareas que debe desarrollar el operario u operarios. Para cada una de las características definidas se ha de establecer un umbral en que se establezca cuándo el producto en ese punto se está elaborando correctamente o producto estándar, cuando está en los

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

límites especificados o cuando no llega a estos límites. Para esto se ha de tener presente cuáles son los límites previamente establecidos por el saber-hacer de un operador experto o encargado de sección o como se generan estos límites. Esto necesita una discusión previa conducida por la empresa, teniendo en cuenta siempre cuales son las preferencias de los consumidores sobre el producto final.

3) Escoger muestras referencia de cada característica.

Las referencias deben ilustrar cada uno de los criterios de interés, siendo indispensables para realizar el seguimiento de la calidad sensorial realizado mediante la comparación explícita entre las características sensoriales del producto evaluado y las de la referencia. Se pueden distinguir tres tipos de referencia:

- Referencia mediante producto real.

La referencia puede estar constituida por un producto tomado en una de las etapas de fabricación. Como para una misma etapa, existen variabilidad entre los productos obtenidos, se deberán tomar diferentes referencias. Se recomienda al menos tomar dos: una que represente el producto estándar y otra con el producto en el límite de aceptabilidad. Si existiera un límite superior o un límite inferior de aceptabilidad, el número mínimo de referencias sería de tres. Las referencias pueden igualmente estar constituidas por un producto obtenido fuera de la línea de fabricación y que presente una característica destacable.

- Referencia construida.

La referencia construida es un producto especialmente fabricado, generalmente en un laboratorio, en el que se desarrolla todas o parte de las características de un producto. Puede ser simple, que represente una sola característica, o complejo, en que está representado varias características. La diferencia

fundamental entre un referencia de un producto real y una referencia construida es que esta última está controlada y es luego reproducible en el espacio y en el tiempo.

- Referencia mental.

La referencia es mental cuando no se utiliza un producto físico (material), es decir, es una construcción inmaterial. Se pueden dar dos situaciones: en la primera, el producto existe físicamente, pero este no puede ser conservado; en este caso, el operador puede aprender la referencia evaluando el producto siendo su objetivo el memorizar las características de interés de producto. En la segunda, el producto no existe físicamente, pero sus características pueden ser descritas; en este caso el operador se debe construir su referencia. Este podría ser el caso en que el operador necesite recurrir a imágenes mentales como referencia. Esto necesita de una formación y una experiencia todavía más largas que las que demandan las utilizadas en referencia físicas.

4) Consensuar las características, las referencias y los puntos de inspección.

Una vez establecidos los puntos donde se deben realizar las inspecciones, las características que van ser evaluadas y los distintos grados que se van a considerar de cada una así como el tipo de referencias que se van a utilizar en cada uno de estos puntos, es necesario que estos aspectos estén consensuados. Éstos deben ser asumidos por todas las personas que integran el equipo que va a responsabilizarse del seguimiento sensorial del producto que ha sido elegido para este efecto. Deberán de redactarse los informes necesarios así como definir bien cuáles son las tareas y actuaciones que deben llevarse a cabo. Cuando una empresa incorpora por primera vez estos métodos en sus sistema de calidad es importante tener en cuenta si tiene experiencia o no en temas relacionados

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

con el análisis sensorial, puesto que si no es así deberá ser asesorada por uno o varios expertos externos que les indicarán las pautas adecuadas a elegir. En esta ocasión esto también debe ser recogido en los informes que se realicen.

c. Fase de Entrenamiento.

1) Entrenar operarios con la metodología.

Este es uno de los puntos más importantes. De los operarios va a depender que el sistema de calidad se lleve a cabo con éxito o no. Por ello se recomienda que el operario sea consciente de la importancia que tendrán las tareas que van a desarrollar. La dirección deberá tomar las consideraciones y decisiones oportunas para dar aliciente a las personas encargadas del seguimiento sensorial. Se pueden buscar formulas que gratifiquen a los operarios por desarrollar adecuadamente su trabajo de forma que estos se encuentren motivados y satisfechos.

Para el entrenamiento en primer lugar se tendrán que descartar a aquellos operarios que presenten algún tipo de deficiencia sensorial que no les permita desarrollar su trabajo, que será detectado mediante pruebas de sensibilidad sensorial. Se descartarán aquellos candidatos con visión anormal de los colores y con poca o nula sensibilidad en el tacto. Se puede determinar que personas son más adecuadas mediante pruebas: para detectar la incapacidad basada en la prueba de emparejamiento (UNE 87008:1992), para detectar estímulos basada en la prueba triangular (UNE 87006:1992) o pruebas de discriminación entre niveles de intensidad basadas en las pruebas por ordenación (UNE 87023:1995). Se seleccionarán tanto operarios como se necesiten para el correcto desarrollo de la producción. Los operarios que no tengan las cualidades necesarias para el desarrollo del seguimiento sensorial deberán atender otras tareas que no requieran de los sentidos para llevarlas a cabo. El objetivo de la formación es permitir al trabajador un proceder

para analizar objetivamente un producto con el fin de determinar si el producto está dentro o fuera de los límites de conformidad. La formación consistirá en ofrecer al operador:

- Los conocimientos sensoriales del producto estándar, sobre todo cuando no es posible disponer de un producto referencia para las evaluaciones rutinarias.
- El conocimiento sensorial de los defectos susceptibles de ser encontrados, ligados a la formulación, al proceso o a eventos accidentales, fuera de la formulación o el proceso.
- Las reglas de decisión a seguir.

En el periodo de formación, el operador debe estar altamente activo, en la medida de su experiencia del producto y de su fabricación. En consecuencia, debe establecerse un dialogo continuo entre el formador y el operador. En el periodo final de esta etapa, convendrá verificar la capacidad del trabajador de efectuar correctamente las evaluaciones implicadas en las definiciones de su función. Para ello se le someterá a una serie de test para este efecto. Estos test serán realizados regularmente con el fin de verificar la aptitud frente a los trabajos sensoriales que se deben asumir. En caso de que sea necesario se deberá aportar una formación complementaria.

2) Periodo de Pruebas.

Una vez entrenados los operarios y establecidos todas las tareas que se han de llevar a acabo, conviene que se realice un periodo de pruebas para detectar posibles errores y mejoras a introducir en el nuevo sistema de seguimiento de la calidad del producto. De esta forma se consigue un entrenamiento conjunto de todas las personas implicadas en el proceso, que permitirá conocer el alcance de su funcionamiento. Transcurrido este periodo se podrá incorporar al sistema de calidad general.

d. Fase de Implementación.

1) Establecer el procedimiento.

Los procedimientos deben ser redactados de acuerdo con el o los operarios que vayan a participar. Para la redacción es imprescindible haber establecido claramente los puntos críticos del proceso. Los procedimientos tienen que definir la forma: de la toma de muestras, de evaluar, de tomar la decisión y de los documentos que deben ser rellenados en cada evaluación. Estos deben permitir que el operador conozca e interprete claramente los resultados de las evaluaciones efectuadas anteriormente. Se debe estipular dónde están disponibles los documentos y los modos de acceso a estos documentos por parte de los operadores como por cualquier miembro de la empresa. Todos estos documentos se deben incorporar al sistema de control que ya esté establecido, tanto en la documentación y como en las posibles hojas de control que se estén utilizando.

2) Incorporar al sistema de producción.

Una vez que todos los actores que intervienen en el sistema de seguimiento sensorial del producto tienen claro sus funciones y se han establecido todos los mecanismos necesarios, como se ha reseñado en los puntos anteriores, se deben pasar a su puesta en marcha definitiva. El sistema debe ser revisado periódicamente y debe estar abierto a los posibles cambios que se produzcan a lo largo de su puesta en marcha. Los cambios producidos deberán tenerse en cuenta para las posibles modificaciones de los procedimientos y documentos pertinentes.

Como ya se ha señalado anteriormente, es muy importante la implicación de la dirección y que esta sepa dar alicientes a los operarios, para que desarrollen su trabajo adecuadamente, ya que de estos depende, en mayor grado, el correcto funcionamiento del sistema.

e. Fase de Control Continuo

1) Análisis de datos del sistema.

Mediante este sistema y junto con el sistema de calidad que la empresa tuviera establecido anteriormente, se recogerán gran cantidad de datos. Desde este trabajo se quiere hacer hincapié y recalcar, que estos se podrían complementar por medio del análisis de los datos que se van recogiendo mediante herramientas de análisis multivariante. Este permitiría la monitorización del sistema así como poder detectar posibles desviaciones que se puedan producir en el largo plazo y que mediante la inspección y el análisis individual es imposible percibir. Esta tarea requiere de unos conocimientos de estadística avanzada y tendrá que llevarse a cabo por el responsable de calidad o el de producción.

Una vez vistas, las consideraciones para la realización de un seguimiento sensorial a un producto en la fase de fabricación, en el capítulo siguiente se aplicará el procedimiento propuesto a la manta para cama.

3.5.3. A.S. para la mejora

En esta sección se va a considerar el caso que se quiera mejorar las propiedades táctiles de productos textiles. Se van a exponer una serie de consideraciones para llevar a cabo con éxito el perfeccionamiento de las características del artículo analizado. No se van a tener en cuenta la calidad hedónica del producto, puesto que ésta considera la calidad afectiva de los consumidores, agradar o desagradar, sobre la base de las propiedades sensoriales. Se va a caracterizar sensorialmente el producto mediante el examen de sus propiedades sensoriales.

Los aspectos que se deben considerar son:

a. El lugar y el equipamiento.

El local donde se deben realizar los ensayos así como la forma de estar equipado es importante para permitir una correcta ejecución de los ensayos. Conviene que las condiciones ambientales sean adecuadas y que

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

no sean susceptibles de invalidar o de comprometer la calidad de las medidas que se realicen. Conviene que el local y los equipos permitan efectuar los ensayos sin el riesgo de identificar los productos y de interacción con otros sentidos. Las instalaciones pueden ser permanentes o ocasionales en función de las necesidades de la empresa.

En la realización del análisis táctil se tiene que tener en cuenta:

- Las condiciones de ensayo:

Las recomendaciones a prestar atención cuando se realiza una evaluación sensorial mediante el tacto son:

- Es conveniente que las instalaciones permitan la separación entre sujetos.
- Es conveniente que el tamaño de las cabinas este adaptado al tamaño de los productos analizados y que exista suficiente espacio para que el sujeto que evalúa pueda trabajar.
- El control del ambiente es muy importante en esta clase de evaluaciones sobretodo se ha de controlar la temperatura, la humedad y la velocidad del aire.

- El laboratorio:

En un laboratorio o local específico donde se realicen las evaluaciones sensoriales debe considerarse:

- El local de ensayo debe situarse vecino al local de preparación.
- La temperatura y el ambiente del local deben ser constantes y controlables.
- El nivel de ruido debe ser nulo o mínimo durante los ensayos.
- El local debe estar exento de olores.
- El local debe tener materiales fáciles de limpiar, exentos de olores y no absorbentes.
- Se debe reducir el sesgo ligado a la iluminación, por lo que conviene que las ventanas estén ocultas.

Una vez terminados los análisis, el local debe de permanecer tal y como estaba antes de su realización. Deben eliminarse los olores, la polución y las partículas producidas o ligadas a las muestras, así como controlar las posibles desviaciones producidas en el contexto del ensayo: % de humedad, temperatura, . . . Es importante que la limpieza y eliminación de la huellas no deje modificaciones perceptibles diferentes al estado inicial del local. La realización de ensayos sin que el local mantenga las condiciones iniciales puede provocar descartes inexplicables.

b. La preparación de las muestras.

Todas las acciones de análisis sensorial necesitan la presencia de muestras que representen al producto a caracterizar. La muestra a analizar puede ser todo o parte del producto. Estas son preparadas y condicionadas en función de las normas existentes y según la etapa del ciclo de vida del producto a analizar. El tamaño se elige en función de que tenga una superficie suficiente según el gesto que se realice.

En el sector textil existen varias normas relacionadas con la toma de muestras, aunque no se refieren en ningún caso al análisis sensorial. En primer lugar destacaremos dos, la norma UNE 40210:1973 *Método de muestreo para gran cantidad de lana en borra para determinar el diámetro de las fibras y/o su longitud*, que se utiliza para lotes de 500 Kg. o más en el que son elegidas varias muestras de diversas zonas del lote; y la norma UNE EN ISO 963:1995 *Geotextiles y productos relacionados. Toma de muestras y preparación de las probetas para ensayo*, cuya función es orientar a la hora de saber como proceder tanto para la selección de muestras como para la preparación de probetas. Existe otra norma que en este caso no hace referencia a como tomar las muestras si no a su tratamiento estadístico, esta es la norma UNE 40498:1984 *Muestreo en ensayos textiles. Definición de los parámetros estadísticos a considerar*, cuyo objetivo es definir los parámetros estadísticos que deben ser tomados en consideración cuando se desea establecer un

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

plan de muestreo para textiles. Estas normas deben servir de orientación según el tipo de producto que se esté manejando, puesto que no existe ninguna norma que considere la toma de muestras textiles para la aplicación de ensayos de análisis sensorial.

Generalmente las muestras siguen un ciclo de vida, que se descompone en:

- Antes del análisis:

Se debe extraer e identificar la muestra para su posterior análisis. En la medida de lo posible es conveniente que la extracción no altere las propiedades sensoriales del producto que representa. Una vez tomada la muestra, debe ser identificada y codificada, para seguir su trazabilidad, conforme a las reglas del laboratorio de análisis y a las propias reglas del sector.

Normalmente las muestras no son analizadas inmediatamente después de ser tomadas. Por eso es necesario prever un sistema de almacenamiento antes del análisis. Conviene que el sistema de almacenamiento tenga en cuenta todos los tipos de variación posibles que puede sufrir la muestra para evitar posibles modificaciones de la propiedades sensoriales que representa. El lugar donde se ponga a punto la muestra antes de su análisis debe ser distinto que el lugar donde ser analizan.

- Durante el análisis:

Con el fin de conseguir un análisis sensorial lo más preciso posible, se recomienda presentar las muestras sin que haya riesgo de identificación del producto y de interacción con otros sentidos. Para ello se pueden utilizar varios elementos de presentación como: cajas, bolsa o un presentador de textiles suspendidos, . . . con objeto garantizar que la muestra no pueda ser reconocida. La codificación debe también preservar el anonimato de la muestra. Se aconseja utilizar un código de tres cifras tomadas al azar con el fin de no dar impresión de clasificación establecida (Meilgaard et al., 1999).

También se recomienda no conservar los mismos tipos de códigos en diferentes etapas del análisis, puesto que los evaluadores los pueden memorizar, en perjuicio de la apariencia sensorial.

El orden de presentación de las muestras debe ser establecido utilizando algunas de las metodologías existentes como el cuadrado latino (Montgomery, 1991). Durante el análisis se debe tener en cuenta que se mantenga constante la calidad sensorial de las muestras analizadas y se deben evitar todas las posibles alteraciones externas.

Es necesario verificar regularmente el estado de los métodos de evaluación y de medida, estudiando que continúen siendo adecuados.

- Después del análisis:

Las muestras, deben ser almacenadas, siempre que mantengan su estado inicial total o parcial. Aunque hay que tener presente que su almacenamiento en un lugar pequeño puede presentar problemas a la hora de buscar muestras particulares. Como ya se ha comentado un sistema de codificación puede ayudar, ya sea para el análisis, ya sea para ayudar a ordenar y almacenar.

Cuando la muestra presente una desviación, o sea una alteración particular de la calidad sensorial que representa, será necesario el descarte de las muestras seleccionadas para el análisis.

Hay un tipo de muestras particular, las muestras de referencia, que en el análisis táctil pueden ser muy útiles, puesto que permiten la cuantificación de un descriptor.

Las referencias pueden ser utilizadas durante las distintas fases de el entrenamiento para: afinar la percepción sobre un descriptor, mantener un conocimiento suficiente de las dimensiones estudiadas (comprensión de los términos, practicar los gestos, utilización de escalas) y ayudar a realizar una evaluación repetida y fiable de los diferentes niveles de intensidad.

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

La gama de referencias necesita un mínimo de muestras por descriptor, que ilustren diversos niveles de intensidad, como por ejemplo la elección de un nivel mínimo, uno máximo y un nivel intermedio. La constitución de la gama depende de las muestras que se estudien (materiales diversos o variaciones de un mismo material) y de los objetivos perseguidos. Se puede decir que existen dos tipos de gamas: El caso de una exploración amplia de las propiedades táctiles, en que las referencias deben ser elegidas de manera que ilustren el tacto de las diferentes posibilidades y el caso de las respuestas esperadas para una serie homogénea de materiales, en que las referencias deben ser elegidas en el sentido de la serie estudiada.

Si las muestras estudiadas sirven de referencia, su utilización y su codificación deben ser diferente a la de las muestras para ensayos.

c. La descripción sensorial.

Cuando se habla de la descripción táctil es necesario hablar de descriptores, éstos generalmente son calificativos. Cada calificativo sigue un protocolo de validación que le garantiza una buena representación de una dimensión sensorial.

La elección de descriptores es una etapa crucial. Es importante que los descriptores táctiles respeten los principios generales de los descriptores sensoriales, que son: Pertinentes (que se adapten a los productos descritos), precisos (sin ambigüedad de comprensión para el jurado) y discriminantes (permitan la diferenciación entre productos). Además en la medida de lo posible deberán ser: independientes (sin redundancia) y exhaustivos (que cubran el campo de exploración del producto).

Es posible generar y seleccionar los descriptores a partir de la familia de sensaciones percibidas o a partir de la familias de gestos (acciones y/o movimientos que se realizan sobre el producto a evaluar). En los dos casos, es importante que la definición del protocolo o de los gestos asociados al descriptor sean precisos y permitan su cuantificación.

Una posible una clasificación de los descriptores según las sensaciones percibidas es:

- Descriptores térmicos: traducen las sensaciones ligadas a la transferencia de calor o de frío entre las superficie de producto y los receptores de la mano. (Por ejemplo: Cálido, frío.)
- Descriptores ortogonales: traducen las sensaciones percibidas por los movimientos perpendiculares de los dedos o de la manos sobre la superficie del producto. (Por ejemplo: duro, pegajoso.)
- Descriptores tangenciales: traducen las sensaciones percibidas por los desplazamientos tangenciales en la superficie del producto. Describen los aspectos de la superficie. (Por ejemplo: rugoso, deslizante, fibroso.)

Algunos de los gestos que se pueden realizar y los descriptores asociados son:

- Desplazar la uña sobre la superficie del material ejerciendo presión. (Ejemplo de descriptores asociados: rayable.)
- Hacer un ligero movimiento circular con la punta de los dedos. (Ejemplos de descriptores asociados: estructura, relieve.)
- Apretar el producto entre el pulgar y el índice. (Ejemplos de descriptores asociados: espeso, aceitoso.)
- Evaluar utilizando la mano plana. (Ejemplos de descriptores asociados: térmico, resbaladizo.)
- Tomar la muestra llenando la mano. (Descriptores asociados: rígido, arrugable, pegadizo.)

Los gestos definen las condiciones de percepción de manera común. En caso de realizar una análisis de una única muestra, se aconseja utilizar siempre la misma mano, ya que las dos manos no son siempre

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

equivalentes en términos de sensibilidad. En caso de realizar un análisis comparativo con las dos manos al mismo tiempo, es importante alternar y cruzar los productos entre las dos manos.

También es interesante destacar que se deben respetar unos tiempo de evaluación entre descriptores. El análisis sucesivo de varios descriptores en el transcurso de una evaluación puede acarrear: la fatiga y/o pérdida de sensibilidad del sujeto que evalúa y una alteración del producto.

d. Los evaluadores.

Los análisis sensoriales pueden ser realizados por dos tipos diferentes de personas: Los sujetos calificados o los expertos sensoriales. Los grupos de personas que efectúan las evaluaciones sensoriales se definen como *el Panel*, y serán el instrumento de medida. La selección y la formación de jueces se pueden estudiar de forma extendida bajo la norma UNE 87024:1996, tanto en su primera parte que hace referencia a los Catadores como en la segunda que se refiere a los Expertos. Los métodos de selección y de entrenamiento dependerán de las tareas que se deban realizar, así como la elección final de formar el panel con sujetos calificados (catadores) o con expertos. Se debe tener una etapa de preselección realizada en la etapa de reclutamiento. La elección final se realizará después de la familiarización y la selección. La cualidades de las personas seleccionadas deben ser seguidas regularmente.

Para el entrenamiento del panel se deben considerar diferentes tipos de ejercicios en función de las necesidades específicas, desde el entrenamiento procedimental de los gestos para medir parámetros hasta la presión ejercida medida con una balanza.

Las recomendaciones ha considerar para realizar los análisis son varias. Es importante, para las sensaciones táctiles, que los evaluadores se laven las manos siguiendo todos el mismo procedimiento. Por ejemplo para que todos tengan la manos a la misma temperatura se puede utilizar un secador. También se ha considerar la fatiga sensorial de los

individuos. Esta fatiga conlleva un número limitado de productos a evaluar, que principalmente vendrá determinada por la motivación y la concentración de los sujetos según la pérdida de atención de éstos y por el cansancio debido a la saturación de la percepción o al número de productos analizados o de pruebas realizadas. Dependiendo de la experiencia de los evaluadores se puede estar más o menos tiempo realizando las pruebas.

e. Los métodos.

La determinación del método más efectivo depende de varios factores. Entre éstos está tanto el objetivo que se persigue con la evaluación sensorial como número de sujetos elegidos para realizar las pruebas. El tamaño del grupo condicionará el riesgo asociado a las decisiones estadísticas.

En este caso se van a destacar dos tipos de pruebas: Las pruebas discriminantes, cuyo objetivo es la detección de la presencia o de la ausencia de diferencias sensoriales entre productos, y las pruebas descriptivas, cuyo objetivo es determinar de manera reproducible las propiedades sensoriales de un producto. El primer tipo de pruebas se aplica cuando se desea comparar productos cuyas diferencias son desconocidas o débiles. Algunas de las pruebas utilizadas son: la prueba de comparación por parejas, la prueba triangular o la prueba 2 sobre 5. El segundo se utiliza para desarrollar nuevos productos, establecer la naturaleza de las diferencias entre los productos, realizar un control de calidad o abastecer de datos sensoriales para correlacionarlos con los datos sensoriales o relacionarlos con la preferencias.

f. Informe de los ensayos.

Es importante que un informe sobre los ensayos mencione las informaciones siguientes:

- El demandante.
 - El objetivo del ensayo.
-

3.5. El A.S. en el control y la mejora de textiles

- El protocolo del ensayo.
- La referencia a la norma o el modo operativo interno aplicado.
- Toda la información que permita la correcta identificación de las muestras (designación, lote, código, modo de selección, forma, lugar y condiciones de almacenamiento).
- Las definiciones y protocolos de ensayo de los descriptores utilizados.
- El número de muestras examinadas y el orden de presentación.
- Los términos o las referencias utilizadas.
- El número de ensayos.
- El número y la identificación de sujetos.
- Todas las condiciones de los ensayos y las recomendaciones particulares dadas en el transcurso del ensayo.
- Los resultados obtenidos con la metodología estadística utilizada.
- Todas las diferencias (queridas o no) referidas a las condiciones del ensayo.
- La fecha y hora de los ensayos.
- El nombre de las personas responsables de los ensayos.

Una vez determinados los aspectos que se han de considerar para mejorar la calidad sensorial de un producto, se expondrá, en el capítulo 6, y junto con el proceso de diseño de experimentos del producto que se expondrá en el capítulo 5, la mejora de la calidad sensorial y de sus prestaciones de la Napa termofusionada.

*CAPÍTULO 3. ANÁLISIS SENSORIAL EN EL CONTROL Y LA
MEJORA DE PROCESOS*

Capítulo 4

La Manta para cama

4.1. Introducción.

En este capítulo se va a desarrollar la propuesta realizada en el capítulo tres de la presente tesis, en el que se propone una metodología para la implantación de un sistema de control de calidad basado en el seguimiento sensorial del producto durante su proceso de fabricación. Se ha aplicado al proceso de fabricación tipo Raschel para mantas de cama. En los siguientes apartados se expondrán los resultados de la aplicación de la metodología para el caso estudio escogido.

4.2. A.S. en el proceso de producción

En este apartado se expondrán las causas que se han tenido en cuenta para la elección de la manta, así como los problemas que se quieren abordar con esta actuación. Seguidamente se expondrán los objetivos que se persiguen en la realización del seguimiento sensorial a un producto en su proceso de producción, tanto a nivel general como en el caso particular que se aborda.

4.2.1. Justificación y planteamiento del problema

Para centrar el problema, se hablará en primer lugar del producto sobre el que se va actuar: la manta de cama. Según la norma UNE EN ISO 14:1994 *Dimensiones de las mantas para camas* se define la manta para cama como un: *Artículo textil confeccionado, dispuesto para su uso, destinado a asegurar la comodidad del usuario reteniendo el calor necesario para el cuerpo, y cuyas propiedades térmicas dependen de la combinación de los factores siguientes: del volumen del aire retenido entre las fibras por perchado de las dos caras de material o por napas de fibras entrelazadas entre sí, y de la misma naturaleza de las fibras que la componente y de la manera en que quedan ensambladas en el tejido no perchado*. Sólo con esta definición ya queda claro el papel importante que desarrollará el análisis sensorial en el producto. Existen distintos tipos de producción de mantas para camas: manta tejida simple, manta tejida celular, manta tejida a doble cara, manta de bucles, manta de napa ligada, manta punzonada,... En este caso nos centraremos en solo uno de los tipos, aunque la metodología pueda ser aplicable al resto, la manta de cama tejida a doble cara mediante un proceso de Raschel, aunque la metodología propuesta se podría utilizar en cualquier proceso de producción. Este tipo de fabricación, aunque este mecanizada, tiene aspectos de producción artesanal, sobre todo en cuanto al control sensorial se refiere.

La decisión de la aplicación a este producto es por varias causas. En primer lugar por ser uno de los productos de mayor implantación en las comarcas de l'Alcoià, el Comptat i la Vall d'Albaida. En estos momentos estas zonas productoras de textiles para el hogar se encuentran en una situación

4.2. A.S. en el proceso de producción

delicada debido a la apertura del mercado mundial textil, que les exige cada vez mayor calidad en vez de gran productividad. En segundo lugar porque se ha detectado la necesidad de que las empresas dispongan de sistemas que aseguren la calidad sensorial con el fin de elaborar productos con niveles de calidad elevados y así reducir costes. Por último, debido a las rotaciones de las plantillas y al envejecimiento de las mismas, se crea la necesidad de mejorar y documentar los métodos utilizados por los especialistas sensoriales que en estos momentos se encuentran trabajando.

Las causas se pueden sintetizar en los siguientes aspectos:

- Que un gran número de empresas en estos momentos no cuentan con una adecuada documentación de sus procedimientos para el aseguramiento de la calidad sensorial, poniendo en riesgo la pérdida de su *know-how* en la calidad alcanzada en las mantas.
- Que la conformidad de las mantas es establecida por los operarios del proceso mediante un continuo análisis por medio del tacto y la vista, pero no existe una sistemática, ni un lenguaje común ni un entrenamiento para el aprendizaje, que haga que todos los operarios tengan la misma destreza, aspecto que puede provocar gran variedad sensorial entre un mismo producto.
- Que, por lo general, la calidad de la manta dependen de la persona encargada de la producción y de sus valoraciones sensoriales, que suele ser la persona más experimentada y con más años en contacto con el proceso.
- Que se ha detectado un serio problema, en el corto plazo, como es el envejecimiento de los especialistas, y como la rotación de la plantilla es inevitable, se pueden encontrar con el problema de la falta de personal cualificado.

A continuación se desarrollarán los objetivos perseguidos con la aplicación de la metodología a la fabricación de la manta tipo Raschel.

4.2.2. Objetivos del seguimiento sensorial

Como ya se comentó en el capítulo tres son varios los objetivos que persigue el seguimiento sensorial, de forma resumida:

- Optimizar el producto.
- Crear un sistema estandarizado de control.
- Mejorar el proceso.
- Facilitar el aprendizaje.
- Aumentar la fidelidad de proveedores y consumidores.

Mediante la implantación de la metodología propuesta en el capítulo anterior sobre el proceso de fabricación de mantas, los objetivos específicos que se persiguen son:

- Crear una herramienta, rápida y eficaz, que sistematice la metodología adecuada en la valoración sensorial del proceso de fabricación de mantas.
 - Controlar y saber reaccionar, en el corto plazo, sobre los parámetros de fabricación con el fin de dominar la producción.
 - Acortar los períodos de aprendizaje de los operarios de dicho proceso dotándolos de la destreza e independencia necesaria para actuar conforme a los parámetros de calidad establecidos.
 - Sistematizar el control de calidad de la manta de forma tal que ésta no dependa exclusivamente de la experiencia de algunos miembros de la plantilla.
 - Perfeccionar la implantación del sistema de gestión de calidad.
 - Permitir la trazabilidad de los productos.
-

4.2. A.S. en el proceso de producción

- Alcanzar una uniformidad de criterios para determinar la conformidad del producto.

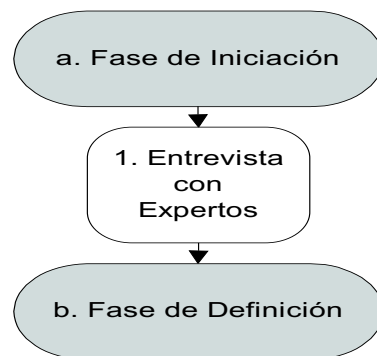
La empresa donde se ha implantado este sistema de control de la calidad sensorial desea permanecer en el anonimato. También se omitirán nombres de marcas comerciales así como de las personas que han colaborado y trabajado en el presente estudio.

En el apartado siguiente se describe la metodología de Análisis Sensorial para el caso elegido, exponiendo en cada uno de los puntos propuestos cuales han sido las acciones llevadas a cabo, así como los resultados obtenidos.

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

En los puntos siguientes se va a exponer la experiencia llevada a cabo en la fabrica donde se realizó la implantación del seguimiento del proceso de mantas para cama. Esta primera experiencia sirvió para conocer la gran utilidad de estas herramientas como se verá en los puntos siguientes.

4.3.1. Fase de Iniciación



Es esta fase la integrada únicamente por el punto, 'Reunión/entrevista con expertos'. El objetivo es realizar los primeros contactos con los responsables, para que de ellos salgan las directrices ha seguir durante la implantación del sistema de seguimiento sensorial. Ha de quedar claro en estas primeras reuniones que quienes deben liderar los cambios que se lleven a cabo deben ser los directivos, pues deben ser los que motiven al resto para abordar las medidas oportunas. En el punto siguiente se expondrá la forma en como se ha realizado para el caso de la manta.

Reunión/entrevista con expertos

Una vez convencida la dirección de la necesidad de tomar medidas para la mejora de la producción de mantas, se estableció un calendario de reuniones para concretar las acciones que se iban a abordar. La primera reunión sirvió como toma de contacto para que los expertos expusieran los problemas y

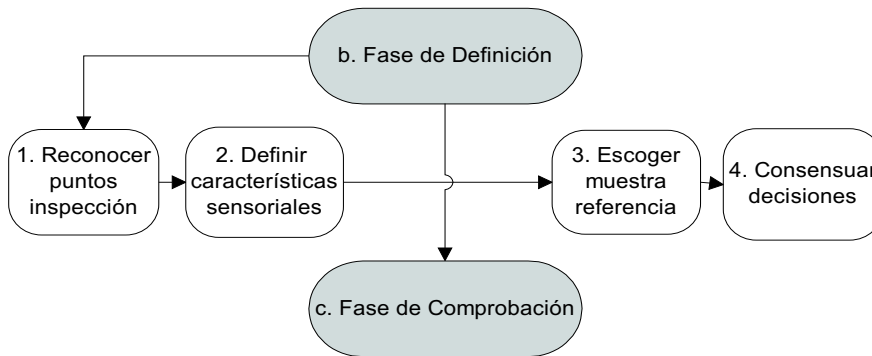
4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

dificultades por los que estaban atravesando. El grupo de trabajo estaba formado por: el director de calidad, el responsable de calidad del producto, el director de producción, el encargado de maquinaria y los encargados de cada turno. Como ya se ha comentado anteriormente, los problemas fueron principalmente: el envejecimiento de la plantilla, la variabilidad de calidad en el producto, la dependencia sobre el encargado de la producción y la falta de un lenguaje y una sistematización común para todos.

Además se comentaron cuales eran las tareas sensoriales que se estaban realizando en esos momentos así como los puntos donde se realizaban estas inspecciones. Las conclusiones a las que se llegó tras varias reuniones era que había una clara necesidad de intervenir sobre estos problemas y que la forma más adecuada de hacerlo era mediante la implantación de un sistema de seguimiento sensorial sobre el producto en su proceso de producción, para después incorporarlo al sistema de calidad que la empresa ya tenía funcionando.

Una vez hechas las conclusiones, se pasó a definir los puntos del proceso sobre los que sería más eficaz realizar las inspecciones, para empezar a implantar el sistema de control sobre la manta.

4.3.2. Fase de Definición



La fase de definición está formada por cuatro aspectos distintos: El primero es 'Reconocer los puntos de inspección del proceso' cuyo objetivo es establecer y conocer aquellas áreas del proceso de fabricación sobre las que

se debe actuar; el segundo es 'Definir características sensoriales sensoriales a controlar' que tiene como objetivo estudiar que aspectos del producto se van a revisar para su control; el tercer punto es 'Escoger muestras referencia de cada característica' siendo el objetivo que persigue encontrar las referencias necesarias que definida con precisión las distintas intensidades que toman las características que se hayan definido; Por último se deben 'Consensuar las características, las referencias y los puntos de inspección'. En los apartados siguientes se desarrollan estos para el caso estudio elegido.

Reconocer puntos de inspección del proceso

Se realizó un estudio detenido del proceso con ayuda de las conclusiones realizadas en el apartado anterior, pero en este caso sobre el terreno e inspeccionando el proceso fase por fase. Se analizó, en cada una de las etapas del proceso de producción, las tareas ya definidas así como los posibles controles sensoriales que ya se realizaban.

El proceso se caracteriza por producir en lotes de aproximadamente 110 piezas por tirada diaria. Las diferentes etapas del proceso fabricación de mantas tipo Raschel y su descripción es:

Hilatura: Los hilados de fibra cortada destinados al pelo de la manta y los de fibra continua destinados al basamento son montados en sus respectivas filetas. Forman la materia prima a partir de la cual se fabricará el producto. Los hilos deben ser sometidos a un proceso de control, mediante la realización de inspecciones y ensayos (ensayo del título del hilado, torsión, resistencia, solidez de la tintura, . . .) que se realizará en el laboratorio según la normativa existente, en el que se comprobarán si el proveedor cumple con los criterios y especificaciones de calidad que se le exigen.

Urdido: El urdido es el lugar donde se inician las actividades que dan comienzo al proceso propiamente productivo o de transformación. Partiendo de los hilados en las filetas, se obtendrá como resultado del

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

conjunto de operaciones un producto en curso llamado plegador, durante la elaboración del cuál los operarios deben realizar inspecciones visuales con el fin de detectar materia extrañas que producirían defectos en los tejidos y problemas en la maquinaria. El plegador se utiliza posteriormente en la sección de tisaje para conformar los tejidos.

Tisaje: En esta operación se transforman los hilados en tejidos, uniéndolos mediante tejeduría por urdimbre. Se debe vigilar el buen funcionamiento de las maquinas e inspeccionar visualmente, de forma aleatoria puesto que una misma persona se encarga de varias máquinas, los defectos que puedan aparecer en el tejido. Los posibles defectos deben ser identificados para una posible corrección. Se deben realizar comprobaciones de las variables del telar para asegurarse que los valores son los óptimos para el artículo que se esté elaborando, y así cerciorarse que siempre se está produciendo en las mismas condiciones.

Corte: El tejido elaborado en el proceso de tisaje, es cortado longitudinalmente por el hilado de pelo quedando dos piezas de 50 metros de largo, denominadas cara A y cara B. Se deben de realizar varias inspecciones para asegurarse que el corte se ha llevado a cabo con éxito. Se debe medir el largo y el ancho de la pieza para comprobar si el producto se encuentra dentro de las tolerancias establecidas. Se debe vigilar que la altura del pelo de las dos caras sea de la misma longitud, así como realizar una nueva inspección visual para detección de defectos en el tejido. Una vez cortada la pieza tejida se deben pesar para comprobar que tiene un peso adecuado.

Emburrado: En esta tarea sencillamente se enrollan las piezas sobre un cilindro de acero. De nuevo y durante la ejecución de la tarea se inspecciona visualmente para detectar posibles fallos en el tejido. Si se detecta algún defecto se debe identificar para su posterior seguimiento. Para proteger la calidad del tejido se debe embalar los rollos.

Estampado/termofijado: Al producto en crudo se le puede realizar dos

tareas distintas: o estamparle algún diseño o bien someterlo a un proceso de termojijado para darle color. En estos procesos se pueden dañar los tejidos así que una vez realizados deben ser sometidos a una inspección visual con el fin de detectar posibles defectos. En esta fase se añade una nueva inspección sensorial, que es la evaluación del tejido por el olfato. Los tejidos que son sometidos a estos procesos de acabados emiten un olor característico que en caso de ser muy intenso señala que el tejido puede haber sido dañado.

Tigreado: A partir de este punto se realizan las tareas que van a dar las características térmicas de la manta. En este punto se rompe el pelo de manta, es decir, se desfibra. Para ello el tejido pasa a través del Tiger dos veces. El trabajador debe comprobar tanto las variables referentes al tejido como de la máquina, para controlar el estado del tejido y que la operación se desarrolla correctamente. En esta fase, aparte de las inspecciones visuales que se realizan, se llevan a cabo inspecciones táctiles que permiten controlar el pelo de la manta.

Perchado: En esta acción se pasa el pelo de un lado al otro lado del basamento. Con lo que la manta queda con pelo desfibrado en ambas caras. Esta operación se realiza pasando la pieza por varias perchadoras, inspeccionando en cada una de ellas que el tacto es el óptimo, con el fin de controlar que el pelo pasa de la cara buena a la mala de forma paulatina y correcta.

Tundido: Ésta es la acción de cortar e igualar el pelo de la manta por ambas caras. Se vigila, mediante la vista y el tacto, el corte del pelo de la manta por si hay que rectificar las variables de la máquina en caso de que sea necesario. Se debe controlar la velocidad de la tundosa, ya que variaciones en la velocidad producen defectos en el tejido.

Confección: Es esta la última acción que se realiza, en la que la pieza se transforma a piezas cortándola según unas medidas apropiadas. Se realiza una inspección 100 % de la mantas, ya que: primero se deben

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

cortar la pieza de 50 m. en el tamaño de la manta que este establecido y esta tarea se realiza a mano por dos operarias, en segundo lugar a cada una de las mantas se les debe coser un ribete y por último cada una de ellas es empaquetada de forma individual. En cada operación las mantas son inspeccionadas mediante la vista y el tacto.

Se puede observar la secuenciación de estas operaciones en el gráfico siguiente 4.1.

Una vez analizadas cada una de las etapas y estudiadas cuales son las tareas sensoriales que hasta el momento se realizaban en cada una de ellas se definieron los puntos donde más interés se tenía por actuar. Se vio que en todo el proceso de formación del tejido en bruto (urdido, tisaje, corte, emburrado y estampado o termofijado) se realizaban inspecciones visuales para las que ya existía todo un sistema de identificación de defectos y que estos no influenciaban en las características sensoriales del producto. Por tanto se decidió actuar sobre aquellos puntos donde se realizan las inspecciones táctiles (tigreado, perchado, tundido y confección). Tales tareas solían recaer sobre el encargado de la producción y algunos operarios más experimentados, habiendo incluso operarios que no las realizaban, provocando gran variabilidad sensorial en el producto. Un criterio importante a considerar serían las inspecciones visuales que se deberían realizar sobre la manta, puesto que mediante él se realizaría un control del correcto funcionamiento de la maquinaria y de la elaboración del producto.

Una vez reconocidos y decididos los puntos de inspección del proceso sobre los que se debería actuar, se pasó a decidir las características de la manta que se deberían controlar en cada punto para la obtención de un producto con unas propiedades sensoriales óptimas.

Definir las características sensoriales a controlar

En la metodología propuesta, es esta fase una de la más importante porque de las decisiones tomadas dependerá la calidad del producto. En el caso de la manta se realizaron varias reuniones con los especialistas del producto

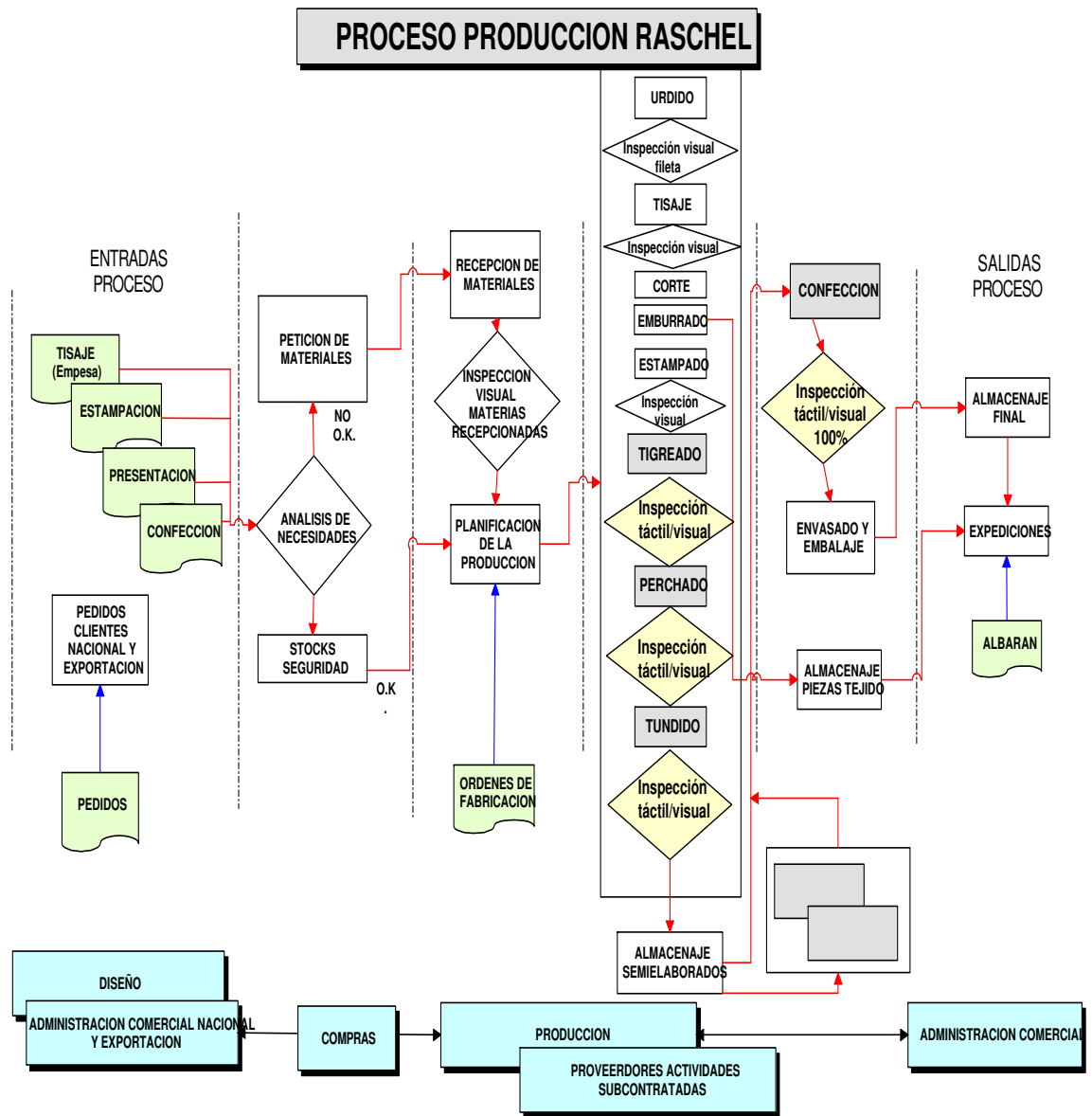


Figura 4.1: Proceso de producción de mantas Raschel

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

así como revisiones de las tareas que se estaban realizando a pie de máquina. De todas estas reuniones se tomo, como primera decisión importante, que solo se mediría un descriptor por punto del proceso ya que la medición de más de uno supondría un considerable retraso en el proceso de producción.

Teniendo en cuenta que los clientes aprecian de la manta la sensación térmica, la suavidad en el tacto, el cuerpo y un aspecto agradable, se pasó a definir los descriptores a observar en cada punto. Como se ha comentado anteriormente, solo se tratarán aquellas tareas en los que interviene el tacto como principal medio para medir y seguir la calidad del producto. Las características sensoriales, tanto táctiles como visuales, que se tuvieron en cuenta en cada fase fueron:

- Tigreado:

Esta operación, es uno de los puntos claves para definir las calidades sensoriales de la manta. Un mal tigreado puede representar que la manta no cumpla con las especificaciones. La operación que se realiza es introducir la pieza en crudo, cuando el hilo todavía está en torsión, se tiene que abrir, o sea deshacerlo, y peinarlo. Para controlar la características sensoriales del producto en la tarea mencionada se debe:

Vista: En este caso se han de tener presentes las siguientes consideraciones. En primer lugar un mal funcionamiento de las variables de la máquina producirán un aspecto apanillado (parecido a la pana) en el tejido en el caso de exceso de presión o diferente brillo en distintos trozos de la pieza por no tener la suficiente presión. También se deben observar la formación de arrugas mediante una inspección continuada. Por último se debe controlar la caída de la pieza desde la máquina hasta el carro donde será transportada, puesto que esta nos indicará si se está procesando correctamente, así como los pliegues que hace la pieza sobre el carro el operario podrá apreciar si el pelo se ha desfibrado de forma uniforme.

Los descriptores que se proponen, una vez tenidas en cuenta las consideraciones anteriores, son la caída de la tela y la uniformidad

del pelo.

En esta tarea se pueden detectar visualmente algunos defectos, definidos en el catalogo de defectos de la AEC (AEC, 2003), que no son reparables como: efecto tejido de pana, desgarró en el tejido por arruga en el tiger y existencia de alguna franja de la pieza por desfibrar, normalmente producida al principio de la pieza.

Tacto: Se debe comprobar que el hilo está bien desecho ya que si no fuera así, en la siguiente etapa el perchado, al pasar el pelo de un lado al otro podría romper el basamento del tejido. Se deberá manosear la pieza en las distintos pases por la máquina, cogiendo el producto entre las manos y comprobando como la fibra pierde dureza evaluando la evolución del pelo. Una forma de comprobar si se ha desfibrado correctamente es pasando la mano sobre el tejido como si fuera un rastrillo. La característica sensorial a evaluar es la dureza. Existen únicamente dos estados: cuando la pieza ha sido tigreada correctamente, es decir, cuando se ha desecho bien el hilo y cuando no, existiendo varios grados de desfibrado, cuando éste no se realiza por completo, pero ninguno de ellos válido.

■ Perchado:

Una vez se ha desecho el hilo del tejido y se ha conseguido una distribución uniforme en toda la pieza se debe pasar alrededor del 40 % del pelo a la cara mala. Esta operación es delicada puesto que si se le imprime excesiva velocidad se puede romper el basamento del tejido, por eso se hace pasando la pieza por varias perchadoras hasta conseguir el producto estandarizado. Las condiciones de humedad del lugar donde se realiza son importantes, por eso se recomienda el uso de vaporizadores para mantenerlas constantes. El control sensorial es:

Vista: En cada uno de los pases de la pieza por las distintas perchadoras se debe ir observando la forma con la que cae sobre el carro

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

y la forma en la que se va plegando puesto que será un indicador de que la operación se está realizando correctamente. También se debe tener en cuenta los posibles defectos que tenga la pieza producidos por la falta de control de las variables de la máquina mediante la observación del aspecto, así como observar que el pelo se está distribuyendo de forma uniforme en todo el tejido.

Según el catalogo de defectos, visualmente se pueden detectar algunos de los siguientes defectos no reparables: agujeros por pisada en percha y falta de perchado dejando parte del tejido crudo.

Tacto: La acción que se debe efectuar en esta fase de elaboración del producto es ir tocando y apretando la pieza en distintos puntos y por los distintos pases que se le realiza, observando como la pieza va perdiendo dureza. El descriptor que se evalúa al final del proceso es el cuerpo. Se pueden alcanzar tres niveles distintos: el óptimo, el aceptable y el que está en el límite de las especificaciones. Otros estados de la pieza no están dentro de las especificaciones y harán que está sea rechazada. Un perchado poco correcto puede ser corregido en la fase siguiente, en decremento de la calidad del producto.

- Tundido:

Una vez se ha pasado la cantidad de pelo adecuado de un lado al otro de la manta, se le debe someter a los últimos tratamiento para conseguir la calidad sensorial deseada. Para ello, se realizan dos tareas diferenciadas por medio de dos tipos de máquinas, la tiger y la tundosa. Se pasa la pieza por la primera para abrir el pelo y peinarlo, para luego cortarlo por su paso por la segunda máquina para conseguir la mayor uniformidad de pelo posible en cada una de las caras de la pieza. El seguimiento de las características sensoriales se basará en:

Vista: Se debe observar si el estado del pelo es uniforme en toda la pieza. Como en los dos casos anteriores tanto la caída de la pieza

sobre el carro como la forma de plegarse sobre éste son indicadores de un buen control de las variables del proceso. Si se detecta un efecto apersianado (en forma de persiana) sobre el tejido se deberá a un error en el ajuste de las variables de la máquina.

El catalogo de defectos mencionado antes, nombra algunos defectos no reparables que tienen que ser detectados visualmente como: desgarro en el tejido producido por corte de la tiger, tejido de rasurado sin llegar al basamento y zonas con pelo más largo por mal que éste ha sido mal cortado.

Tacto: Se debe ir inspeccionando manualmente el correcto funcionamiento de cada paso por las distintas máquinas tocando la pieza para comprobar si esta va cogiendo cuerpo y perdiendo dureza. El descriptor que se puede evaluar al final de la realización de estas tareas del proceso es la suavidad del producto que se comprueba frotando la mano sobre el pelo. Se pueden distinguir tres niveles distintos de aceptabilidad: el óptimo, el aceptable y el que está en el límite de las especificaciones. La pieza tendrá que tener un cuerpo aceptable que está directamente relacionado con la suavidad, por eso no será necesario su medición.

- Confección:

Una vez se ha sometido a la pieza a los distintos tratamientos para conseguir las características sensoriales adecuadas, en esta última fase se podrá establecer el nivel de calidad alcanzado así como rechazar aquellas piezas defectuosas. Se van cortando la piezas en una mesa, mediante una cortadora que es lanzada de un extremo al otro de la mesa por dos operarias. Las trabajadoras en esta tarea inspeccionan el 100 % de las mantas. Una vez cortadas la piezas se les debe coser un ribete y empaquetarlas para su almacenamiento y posterior distribución siendo sometidas de nuevo a inspección todas y cada una de ellas. Las evaluaciones sensoriales para cada sentido de interés son:

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

Vista: Una de los primeros aspectos que se deben observar es el tamaño de la pieza sobre el carro, ya que puede ser indicador de un mal procesado en las etapas anteriores. Aspecto que se debe considerar antes de cortar las piezas, puesto que una vez cortadas los defectos ya no son reparables. Cuando se está cortando, confeccionado y luego plegando las mantas las operarias pueden observar posibles defectos debidos a varias causas como: suciedad, agujeros, rayas, carreras, . . . con el objetivo apartar las mantas defectuosas y que estas no lleguen al cliente.

Tacto: El continuo tratamiento por parte de las trabajadoras de todas las mantas hace que se les esté sometiendo a un control al 100 %. Cuando se coge la pieza desde el carro hasta la mesa se evalúa si el peso de la manta es el adecuado y si tienen el cuerpo y la suavidad óptimas. Al realizar esta tarea se realiza una clasificación de las mantas en tres niveles: óptimo, estándar y en límite de las especificaciones.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla (4.1) en la que se define la característica a evaluar según la tarea a desarrollar:

En la tabla se puede ver los distintos descriptores definidos según el trabajo que se esté realizando. En aquellos donde se utilizan los tres niveles de aceptabilidad se han obviado aquellos niveles que indicarían que el tejido no está procesado correctamente, uno que es cuando la pieza está mal pero se puede reprocesar y/o otro cuando la pieza se desecha por estar mal procesada, dependiendo de la característica que se esté evaluando se utilizan los dos niveles o solo uno de ellos.

Los distintas características a tener en cuenta no son independientes unas de otras, recomendándose comprobar en primer lugar los descriptores visuales y posteriormente los táctiles. También se ha de señalar que durante el seguimiento sensorial del producto se pueden distinguir dos etapas:

- a. Comprobación sensorial: se realizará durante las primeras pasadas por las distintas máquinas y mientras la manta no ha llegado al final del

Tarea	Descriptoros visuales	Nivel (en ambos)	Descriptoros Táctiles	Nivel acepta.
Tigreado	Caída —— Uniformidad del pelo	Correcta o Incorrecta	Dureza	Correcta o Incorrecta
Perchado	Caída —— Aspecto	Correcto o Incorrecto	Cuerpo	Óptimo Correcto Aceptable
Tundosa	Caída —— Uniformidad del pelo	Correcta o Incorrecta	Suavidad	Óptima Correcta Aceptable
Confección	Altura carros —— Aspecto	Correcto o Incorrecto	Valoración final	Óptima Correcta Aceptable

Tabla 4.1: Descriptoros sensoriales en de fabricación de Mantas

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

punto en el que esté de la producción. El objetivo es ir comprobando la evolución de las características sensoriales a controlar con objeto de corregir las posibles deficiencias que se puedan producir. Debido a la longitud de las piezas se deberán hacer comprobaciones en distintos puntos de la manta de forma aleatoria.

- b. Valoración sensorial: se realizará cuando la manta ya esté procesada y será el momento en el que se tome una decisión sobre el grado de aceptabilidad que tiene el producto. Se utilizará como medio de comunicación entre los diferentes punto del proceso para conocer cual es el estado en el que se recibe el producto para su posterior tratamiento.

Una vez elegidas las tareas a realizar, los descriptores, y las pautas a seguir para su control, se pasó a definir cuales eran las referencias que se iban a utilizar en cada caso.

Escoger muestras referencia de cada característica

En primer lugar, se decidió diferenciar entre dos tipos de producto, la telas lisas y las acabadas, ya que éstas últimas, al ser estampadas o termofijadas, tienen características sensoriales diferentes puesto que el hilo es sometido a una fatiga que la manta lisa no sufre.

Los tipos de referencias que se utilizan dependen del sentido. Para los descriptores en los que se utiliza la vista se utilizan dos tipos referencias distintas:

- a. Para controlar la caída de la tela se utilizan referencias mentales. En este caso el operador debe recurrir a imágenes mentales, observando como cae la tela si se está produciendo en unas condiciones correctas y como lo hace en caso contrario. Esta referencia necesita de mucha formación y experiencia para poder saber discernir entre ambos casos. Por eso es necesario que este descriptor se apoye con los otros propuestos.
- b. Para controlar la uniformidad del pelo, así como el aspecto de la pieza se utilizarán referencias mediante un producto real. El descriptor es

útil para observar los posibles defectos que se producen durante el procesado de la manta. Un aspecto correcto debe ir acompañado de un análisis táctil pues reforzará la decisión que se tome sobre el estado de la manta. Como ya se ha comentado con anterioridad se pueden realizar de forma simultanea a los otros controles.

En las fotografías siguientes se puede observar algunas de las referencias mentales mencionadas anteriormente. En la primera 4.2(a), se puede ver la forma de caer el tejido sobre el carro en la tarea de perchar el tejido, en la segunda 4.2(b) se puede observar la caída pero en este caso en cuando la pieza está pasando por la tiger, y en la fotografía 4.2(c) se puede ver un operario inspeccionando la caída y el aspecto que va tomando el tejido.

A continuación se muestran tres ejemplos de referencias para analizar la falta homogeneidad de tejidos, y ejemplo del modo de realizar el control del producto. En la primera 4.2(d) podemos ver a modo un referencia donde se puede observar un mal procesado porque se detecta falta de uniformidad del pelo, produciendo un efecto apanillado en la manta. En la segunda fotografía 4.2(e) se muestra al operario realizando una inspección del aspecto controlando que no aparezcan defectos y comprobando que el pelo se distribuye uniformemente. Por último en la fotografía 4.2(f) podemos ver dos mantas estampadas donde se observa como la diferencia de pelo provoca distintas tonalidades.

Por último, se puede ver en las fotografías siguientes varios ejemplos, tanto de referencia como de inspección. En la primera fotografía 4.2(g) se puede ver la altura que debe tener el carro antes de ser confeccionado. La segunda fotografía 4.2(h) muestra a dos operarias cortando la pieza mientras realizan tanto una inspección táctil como visual. La siguiente fotografía 4.2(i) muestra a una operaria inspeccionando el producto antes de realizar la evaluación final.

Las referencias necesarias para evaluar las características táctiles de los tejidos son referencias que utilizan un producto real. Se pueden distinguir dos tipos de referencia, aquellas que se utilicen para la comprobación sensorial,

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta



(a) Perchadora



(b) Tiger



(c) Inspección

que deben representar el estado del producto cuando se está elaborando, y aquellas que se utilizan para la evaluación, que representan el producto al final de la etapa.

A modo de ejemplo se van a mostrar distintas fotografías de referencias en distintos puntos del proceso que serán utilizadas para la evaluación táctil.

Para el punto de proceso tiger, se puede ver un caso de una referencia de tejido en crudo (4.2(j)) que representa el estado inicial del producto antes de ser sometido al proceso. En la fotografía que se presenta a conti-



(d) Aspecto apanillado



(e) Tiger



(f) No homogeneidad

nuación (4.2(k)) se puede ver una referencia de pieza con un desfibrado de hilo correcto.

Cuando la pieza pasa por la perchadora se dan varios niveles de aceptabilidad, según el cuerpo que se le da al tejido. Se muestran los tres niveles que se dan como correctos, siendo la fotografía (4.2(l)) la que muestra un cuerpo en el límite de aceptabilidad, la (4.2(m)) muestra un grado aceptable y la (4.2(n)), el grado óptimo de procesado de la pieza.

Por último se va a mostrar las referencias del paso de la pieza por la

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta



(g) Carro



(h) Cortadora



(i) Valoración

tundosa. Se muestra el estado de la pieza, distinguiendo cuando ésta ha sido estampada y cuando es lisa. En las fotografías se muestra, en primer lugar una pieza estampada con nivel 4 de aceptabilidad (4.2(ñ)), o sea, un grado aceptable. En segundo lugar se muestra una pieza estampada con nivel 5 o óptimo (4.2(o)). Por último se puede ver un ejemplo de pieza lisa a nivel óptimo (4.2(p)).

Una vez elegidas cada una de las referencias que se van a utilizar distinguiendo, como ya se ha mencionado, entre tejidos sometidos a algún proceso



(j) Crudo



(k) Bien tigreado

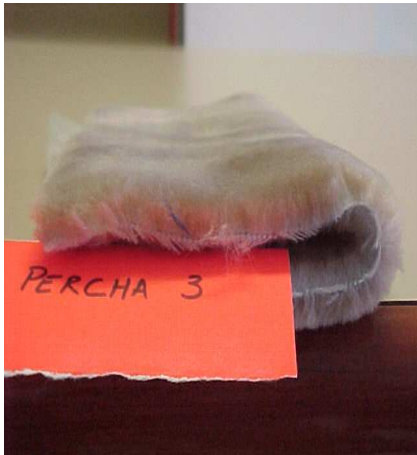
de acabado (estampado o termofijado) y aquellos tejidos lisos, se ha de tener presente el lugar donde se van a almacenar, que debe tener unas condiciones de humedad, de temperatura y de conservación adecuados (Se recomienda una temperatura de 20°C, una humedad relativa del 65 % y tenerlas en embalajes plásticos). Hay que pensar que un uso continuado producirá un desgaste de las cualidades sensoriales y estas deben ser sustituidas cada cierto tiempo.

Cuando ya han sido establecidas las referencias es necesario que tanto éstas como las características y los puntos de inspección sean consensuados por todos las personas que van a intervenir en el seguimiento sensorial.

Consensuar las características, las referencias y los puntos de inspección

En las etapas anteriores se consideró oportuno considerar como puntos de inspección sensorial: el tigreado, el perchado y la tundosa, y como punto de inspección final y clasificación la confección. En cada punto se llegó al acuerdo que las características seleccionadas, tanto para la vista como para el tacto, eran las adecuadas. Solo se vio conveniente realizar una modificación en los niveles que se habían establecido en la valoración de la suavidad en el proceso de la tundosa, puesto que se consideró que si se detectaba un nivel

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta



(l) Nivel 3



(m) Nivel 4

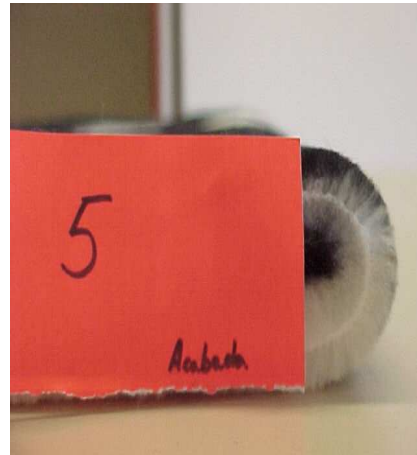


(n) Nivel 5

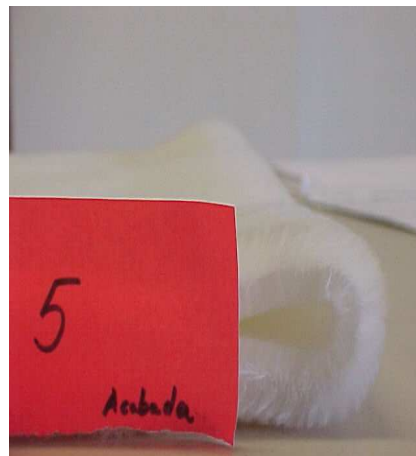
aceptable de una pieza, o sea en los límites de especificación, esta podría ser reprocesada y mejorada antes de ser llevada a la confección. Por tanto la aceptación de la suavidad quedaría representada por solo dos niveles, el óptimo y el correcto. Una vez se llegó a un consenso por parte de todas las personas responsables de la implantación del seguimiento sensorial se redactaron los informes necesarios para llevar a cabo con éxito el control del producto propuesto. A continuación, se exponen los acuerdos para la realización del control sensorial:



(ñ) Acabado 4



(o) Acabado 5



(p) Acabado liso

Descriptores visuales

a. Caída:

- Objetivo: Conocer si la maquinaria está procesando según las variables que se le han introducido.
 - Descripción: Es el modo y la tensión con la que cae el tejido sobre el carro al final de la máquina que está procesándolo.
 - Gesto: Se debe realizar es la observación de la pieza, tanto en
-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

la salida de la máquina como en la forma que se establecen los pliegues sobre el carro.

- Niveles: Son dos los estados que se pueden estudiar, cuando la caída es correcta y cuando es de forma incorrecta. En las fotografías 4.2(a), 4.2(b), 4.2(c) se pueden ver ejemplo de caídas correctas en distintas etapas de proceso.
- Acción: En caso de una caída incorrecta se deberán ajustar las variables del proceso. Si esta persiste se deberá para la máquina y avisar al responsable del producto.
- Puntos: Esta inspección se debe realizar en la tiger, el perchado y la tundosa, en todas las pasadas que se realicen a la pieza.

b. Uniformidad del pelo

- Objetivo: Conocer y controlar si la máquina está procesando según las variables que se le han introducido.
- Descripción: Es la forma en la que se distribuye el pelo sobre el tejido.
- Gesto: Se debe observar si el pelo de la pieza se distribuye de forma constante a la salida de la máquina. Es muy útil el disponer de focos para apreciar con mejor claridad los posibles defectos.
- Niveles: Son dos, que la uniformidad sea correcta o que ésta sea incorrecta. En la fotografía 4.2(f) podemos observar un ejemplo de no uniformidad. La fotografía 4.2(k) nos muestra un ejemplo de pieza con uniformidad del pelo correcta.
- Acción: Si se detecta con antelación se podrá ajustar las variables de la máquina para que no provoque una mala uniformidad en toda la pieza. Se deberá parar la producción cuando se produzca una uniformidad pronunciada, avisando al responsable. Solo en algunos casos, las piezas cuyo pelo no sea uniforme pueden ser reprocesadas, en caso contrario se debe

rechazar el tramo de la pieza que esté mal elaborado.

- Puntos: Esta inspección se debe realizar en la tiger y la tunda, en todas las pasadas que se realicen a la pieza.

c. Aspecto

- Objetivo: Detectar las anomalías que se produzcan en el tejido.
- Descripción: Es el conjunto de atributos que se pueden apreciar del tejido.
- Gesto: Se debe realizar es la observación de la pieza, durante la elaboración de la pieza tanto al comienzo como al final.
- Niveles: Se considera dos diferentes aspectos: el correcto, cuando el tejido carece de defectos y el incorrecto, cuando se observa en el tejido algún defecto, como se puede ver en la fotografía 4.2(d).
- Acción: Mientras no se observen aspectos incorrectos se continuará con la producción de forma regular. En caso de detectar alguna irregularidad se deberá parar la máquina para poder estudiar las causa y rectificarla, avisando al responsable del producto.
- Puntos: Esta inspección se debe realizar en el perchado, y se deberá tener en cuenta en los otros dos puntos productivos. También en la confección se examinará el aspecto para que las mantas defectuosas no lleguen al cliente y sean retiradas a tiempo.

d. Altura carro

- Objetivo: Saber si la pieza ha sido elaborada correctamente.
 - Descripción: Es la altura que toma la pieza sobre el carro antes de ser cortada para elaborar las mantas. Un ejemplo se muestra en la fotografía 4.2(g).
 - Gesto: Se debe observar la dimensión de la pieza respecto a una altura de referencia.
-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

- Niveles: Se ha de distinguir entre dos niveles distintos, cuando la pieza tiene la altura correcta y cuando no llega al límite de altura.
- Acción: Cuando la pieza tiene la altura correcta, seguirá el curso normal de elaboración. Si no alcanza el límite fijado, se deberán estudiar las causas, avisar a los responsables y cuando sea posible reprocesar la pieza.
- Puntos: Esta inspección se realiza cuando el tejido llega al proceso de confección.

Descriptores táctiles

a. Dureza

- Objetivo: Comprobar si se ha desecho el hilo del tejido.
- Descripción: Es una propiedad mecánica de la textura relativa a la fuerza requerida para deformar la manta.
- Gesto: Se coge un trozo de la pieza entre la mano y se aprieta para comprobar que ha perdido la dureza que tienen el tejido sin procesar. También se debe pasar la mano sobre el tejido en forma de rastrillo para comprobar que el hilo se ha desfibrado.
- Niveles: El hilo ha de ser desecho por completo, en éste caso el nivel será el correcto, ver fotografía 4.2(k). Si no deshace del todo, ya sea mucho o poco, el estado del tejido será incorrecto, ver fotografía 4.2(j).
- Acción: Si se comprueba que el tejido no se ha elaborado bien se deberá pasar de nuevo por la máquina para desfibrar completamente el hilo, con la precaución de no romper el basamento.
- Puntos: El control de la dureza se realiza en la tiger, tanto mientras se procesa como al final del procesado.

b. Cuerpo

- **Objetivo:** Comprobar si el tejido está tomando las características sensoriales adecuadas.
- **Descripción:** En una sensación táctil relacionada con el grado de densidad, consistencia y compacidad del tejido.
- **Gesto:** Se toma un trozo del tejido entre la mano y se aprieta. Se puede realizar con las dos manos a la vez y alternado éstas.
- **Niveles:** Se distinguen cinco niveles distintos: cuando el cuerpo de la pieza es óptimo (ver 4.2(n)), cuando el estado es correcto (ver 4.2(m)), un estado en límite de aceptación (ver 4.2(l)), cuando no se ha procesado correctamente y cuando la pieza es incorrecta y no se puede reprocesar.
- **Acción:** Cuando la pieza se encuentre en los dos niveles más altos no se deberá actuar sobre ella y pasará a la siguiente fase. En cambio cuando se encuentre en el límite si es posible se deberá reprocesar hasta alcanzar un nivel superior. Si la pieza se evalúa con nivel no aceptable se deberá avisar al encargado de producción.
- **Puntos:** Esta evaluación se realiza normalmente en la percha. En el periodo de confección se valorará igualmente el cuerpo de la manta.

c. Suavidad

- **Objetivo:** Saber el grado de agradabilidad del tejido.
 - **Descripción:** Es una sensación táctil que define una intensidad placentera y exenta de aspereza.
 - **Gesto:** Se pasa la mano sobre el tejido. Esta acción se debe realizar por ambas partes y durante y después del procesado.
 - **Niveles:** Se pueden encontrar tres grados distintos de suavidad: el grado óptimo (ver 4.2(o)), el correcto (ver 4.2(ñ)) y el no aceptable.
 - **Acción:** Durante el procesado si la suavidad no es adecuada, se deberá procesar la pieza hasta conseguir un nivel aceptable.
-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

Si esto no es posible, se tiene que avisar al responsable del producto. Una vez procesada la pieza, si su suavidad no es correcta, se deberá avisar al responsable del producto para estudiar las causa que hayan podido provocar esta anomalía y tomar la decisión oportuna.

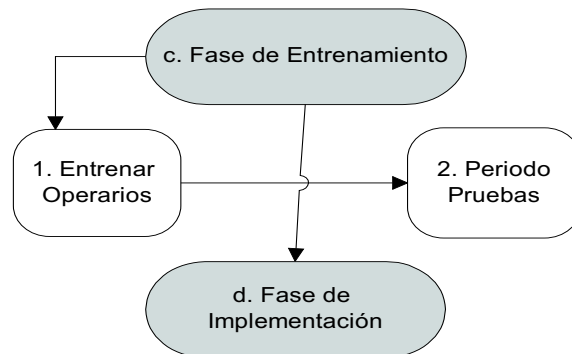
- Puntos: Esta comprobación se realizará en la tundosa, tanto durante el procesado como al final del proceso. En el periodo de confección también será tomada en cuenta para la clasificación final de la manta.

d. Valoración final

- Objetivo: Clasificar las mantas en función de su calidad.
- Descripción: Es la clasificación que se realizará de la manta. Más que un descriptor es la nota final que se le dará a la manta.
- Gesto: Manosear y tocar la manta en diferentes partes, apretándola entre los dedos y pasando la palma de la mano.
- Niveles: Se establecen cuatro niveles de calidad en la valoración final: óptima, correcta, aceptable y saldo.
- Acción: Cuando se está confeccionado las mantas se van separando en función de su calidad.
- Puntos: La valoración final se realiza al final del proceso en la confección.

Definidas las características y descriptores que se iban a utilizar, y redactados los informes con las acciones y objetivos de cada uno de ellos, se pasó a entrenar a los operarios en la metodología que había sido definida.

4.3.3. Fase de Entrenamiento



Esta fase está formada por dos aspectos: el entrenamiento de los operarios con la metodología y el periodo de pruebas al que se someterá el sistema. Los objetivos que se persiguen son varios, discriminar entre los operarios que puedan desarrollar sin ninguna dificultad las tareas sensoriales y los que no, preparar a los operarios seleccionados y entrenarlos. Por último se debe probar el sistema durante un cierto periodo de tiempo para la correcta adaptación de éste. A continuación como se ha hecho para este caso.

Entrenar operarios con la metodología.

En primer lugar, se realizó una reunión con los 10 operarios que eran candidatos a ocupar un puesto en las etapas del proceso a controlar, junto a los responsables y algunos directivos, para motivar y destacar la importancia del sistema que se iba a implantar y de las tareas que ellos iban a desarrollar. Una vez conseguida la motivación de las personas que podrían participarían en el control de calidad sensorial se pasó a investigar si algunos de los posibles participantes tenía alguna deficiencia sensorial que le impidiera llevar a cabo las evaluaciones. Para realizar el descarte se realizaron las siguientes pruebas:

- Prueba de emparejamiento para detectar la incapacidad: Se prepararon muestras de tejidos con un umbral superior al de reconocimiento, marcando cada una con un código de tres dígitos elegidos al azar. Se presentó a los candidatos una muestra de cada tipo para que se fami-
-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

liarizaran con el producto. A continuación se les mostró una serie de los mismos productos marcados de forma diferente y se les pidió que emparejaran cada uno con los juegos originales, así como que describieran la sensación que percibían. Según los resultados se pudo distinguir aquellos operarios con mayor agudeza en el tacto. En la tabla siguiente se pueden ver los resultados obtenidos:

<i>Emparejado</i>	Prueba de Emparejamiento					
	Dureza		Cuerpo		Suavidad	
	C(%)	I(%)	C(%)	I(%)	C(%)	I(%)
Operario A	100	0	99	1	100	0
Operario B	95	5	97	3	100	0
Operario C	97	3	96	4	99	1
Operario D	85	15	84	16	86	14
Operario E	70	30	75	25	65	35
Operario F	89	11	90	10	95	5
Operario G	100	0	100	0	100	0
Operario H	82	18	83	17	82	18
Operario I	95	5	98	2	87	13
Operario J	89	11	77	23	80	20

Tabla 4.2: Resultados prueba de emparejamiento (C: Correcto, I: Incorrecto)

En la prueba, y como indica la norma, se considera que no se deben admitir como candidatos a aquellas personas que no consigan emparejar correctamente al menos el 80% de las muestras. dentro del grupo al que fue sometido a la prueba solo el operario *E* no llegó al límite en ninguno de los tres descriptores, y el operario *J* no llegó al límite en la descripción del cuerpo de la manta. Se decidió seguir los resultados de estos individuos en las pruebas siguientes, sin que fueran descalificados para observar como reaccionaban en las pruebas siguientes.

- Prueba triangular para detectar estímulos: Se mostraron tres muestras

codificadas, un número igual de veces a la serie de la permutación de los tres elementos, dos de las cuales eran iguales y se obligaba a los participantes, mediante la técnica de 'juicio forzado', a indicar cual era la muestra diferente de las otras dos, incluso que dijeran si eran incapaces de detectar esa diferencia. Una vez realizados los análisis se realizaba un test de hipótesis para comprobar si había sido capaz de distinguir las diferencias entre los productos y la diferencia de estímulo entre las muestras. Esta prueba de hipótesis está basada en la distribución binomial con una probabilidad de detectar la muestra diferente de $p=1/3$ (H_0) con un número de respuestas de 50 y un nivel de significación (α) del 1%. En este caso el número mínimo de respuestas correctas para aceptar que los operarios tenían la capacidad de discernir cual era la muestra diferente era de 26 (Este valor k se calcula a partir de la probabilidad $P(\text{Acertar } H_0/H_0 \text{ cierta}) = 0,99 = P(X \leq k/p = 1/3)$). Los resultados obtenidos para cada descriptor y los distintos operarios se pueden ver en la tabla siguiente:

<i>Respuestas</i>	Prueba Triangular					
	Dureza		Cuerpo		Suavidad	
	C	I	C	I	C	I
Operario A	47	1	48	0	45	4
Operario B	44	6	42	8	40	7
Operario C	47	3	50	0	49	1
Operario D	35	15	40	6	38	11
Operario E	28	22	25	25	26	22
Operario F	50	0	45	1	47	3
Operario G	45	3	47	2	50	0
Operario H	48	1	43	7	42	8
Operario I	43	5	44	2	45	3
Operario J	46	1	25	23	30	20

Tabla 4.3: Resultados prueba triangular (C: Correcto, I: Incorrecto)

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

El 80% de las personas que realizaron la prueba la superaron sin dificultades, aunque detectamos muestras que no fueron fáciles de observar las diferencias por eso que en ocasiones la respuesta era que las tres muestras eran iguales. De nuevo los operarios E y J fueron los que peores resultados obtuvieron, detectando en el primero dificultades para encontrar diferencias en los tres descriptores y en el segundo, dificultades para detectar la diferencia de dureza. Se decidió descartarlos en la última prueba y, al operador E se decidió ubicarlo en otra sección donde no tuviera que desarrollar labores sensoriales, y al operador J que no evaluara el cuerpo de las mantas.

- Pruebas de ordenación para discriminar niveles de intensidad: Se mostraron diferentes muestras que tenían distintos ordenes de intensidad de las sensaciones táctiles definidas, y debían de ser clasificadas en orden creciente sin repetir un mismo número de orden a más de una muestra. El orden de presentación aleatorio fue el mismo para todos los candidatos. Por medio de la prueba de Page, que propone la norma UNE 87023:1993, se pudo conocer si la ordenación de las muestras coincidía con el orden predeterminado y si a una determinada muestra se la había adjudicado un lugar distintos al del resto. Como hipótesis nula del test se establece que la ordenación media (r_1, r_2, \dots, r_p) de las P muestras es igual ($H_0 : r_1 = r_2 = \dots = r_p$) y como alternativa que estas siguen el orden natural establecido ($H_1 : r_1 < r_2 < \dots < r_p$). El estadístico de la prueba es $L = R_1 + 2R_2 + 3R_3 + \dots + PR_p$ siendo R_i la suma de las ordenaciones atribuidas a la muestra i -ésima por los jueces. En los caso estudiados se obtuvieron las siguientes puntuaciones:

- Para la dureza existían 4 niveles (1 correcto y 3 incorrectos), dispuesto de más blando a más duro, que fueron evaluadas las muestras por 9 jueces, y se obtuvo un estadístico $L = 450$. En este caso el valor crítico para un $\alpha = 0,01$ es de 246, con lo que se concluyó que el orden de dureza indicado por los jueces correspondía al orden predeterminado de las muestras.

- En el caso del cuerpo del tejido se establecieron también 4 niveles naturales (pésimo, aceptable, correcto y óptimo). En éste caso la evaluación la realizaron 8 operarios y obtuvieron un estadístico $L = 350$. El valor crítico que se establece para rechazar la hipótesis nula es de 220 para un $\alpha = 0,01$, llegando a la conclusión de que el orden de intensidad de cuerpo establecido fue el correcto.
- Por último para la suavidad, donde también se establecieron cuatro niveles (pésimo, aceptable, correcto y óptimo), los 9 operarios obtuvieron un estadístico $L = 415$. El valor crítico es el mismo que en el primer caso (246 para $\alpha = 0,01$) y la conclusión fue que los jueces habían establecido correctamente el grado intensidad.

Estas mismas pruebas a la vez que sirvieron para descartar a los operarios menos hábiles sirvieron para entrenar a las personas que fueron elegidas sobre los descriptores.

Una vez seleccionados los 9 operarios candidatos para controlar la calidad sensorial de la manta se pasó a realizar el entrenamiento, con el objetivo de desarrollar su aptitud para detectar y reconocer los estímulos sensoriales descritos. Se insistió en que debían ser objetivos y no tener en cuenta sus gustos. Se les enseñó la forma correcta de evaluar los tejidos, así como los gestos y los puntos más adecuado para realizar la inspección. En las fotografías podemos ver tres aspectos del periodo de entrenamiento. En la primera (4.2(q)) podemos ver al instructor enseñando la forma que tiene que observar la homogeneidad del tejido y la caída correcta que debe hacer la pieza. En la segunda (4.2(r)) se puede ver al instructor enseñando el gesto para controlar la suavidad del artículo. En la última (4.2(s)) se ve como se enseña el punto donde debe realizar la inspección y la forma de comprobar el aspecto que va tomando el tejido.

Se utilizaron, como ya se había comentado, las pruebas de emparejamiento, de reconocimiento, de comparación por parejas, triangular y dúo-trío para enseñar las sensaciones táctiles y su reconocimiento y descripción. También se les entreno a reconocer las distintas clasificaciones del producto con ayu-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta



(q) Caída y pliegue



(r) Suavidad



(s) Aspecto

da de una escala. Por último se les enseñó el uso de las referencias, aunque para las referencias mentales se debían de acabar de formarse durante el seguimiento cotidiano de la fabricación.

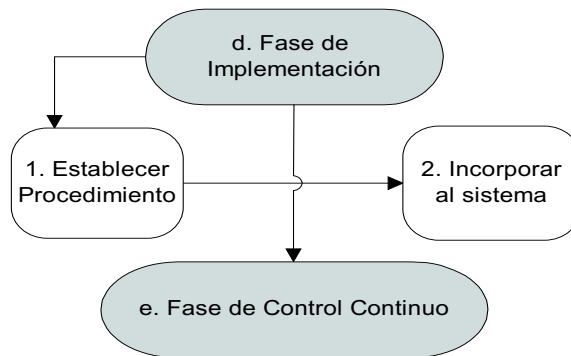
Transcurrido el periodo de entrenamiento, se estableció un periodo de pruebas del sistema.

Periodo de pruebas

Se estableció un periodo de un mes para comprobar que las personas involucradas en la incorporación del seguimiento sensorial de la manta se adaptaban al nuevo sistema sin ninguna dificultad, También se buscó encontrar posibles errores, y mejoras que se podrían introducir.

El grupo de expertos responsable de la implantación del sistema, se encargó de comprobar que no ocurriera ninguna incidencia, y se dispuso todo para establecer el procedimiento definitivo que se llevaría a cabo en la empresa para realizar el seguimiento sensorial de la manta.

4.3.4. Fase de Implementación



En esta parte se debe poner a punto el sistema. Los puntos de los que consta son el establecimiento del procedimiento y la incorporación al sistema de producción. Mediante estas acciones se pretende dejar claras todas las decisiones que se hayan tomado en el transcurso de los puntos anteriores para incorporarlas en los documentos habituales y en el sistema de calidad que se utilice. Por último solo resta la incorporación definitiva del seguimiento sensorial al sistema de producción.

Establecer el procedimiento

Cuando ya se establecieron todos los criterios y aspectos que se iban a considerar para la realización del control sensorial se redactó el procedi-

4.3. Implantación del seguimiento sensorial a la manta

miento. La forma de tomar la muestra, de evaluar y de tomar la decisión ya habían sido consensuadas (4.1.7), y solo resto redactarlas e incorporarlas a los documentos apropiados. Los documentos del sistema de calidad en los que se incorporaron estas decisiones fueron: procedimiento para el control del proceso manta, procedimiento para la inspección y ensayo del proceso de Raschel, instrucción para la realización de las tareas de acabado del tejido para manta, procedimiento para la identificación y trazabilidad del proceso de manta, procedimiento de formación, procedimiento de control del diseño de la manta y el procedimiento para la manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega en el proceso de la manta.

La empresa poseía un hoja para el control, el seguimiento y las mediciones de las piezas elaboradas en el proceso de Raschel. Esta permitía la trazabilidad de la pieza y servía como medio para comunicarse entre los distintos puntos del proceso. Se incorporó a esta ficha, en las etapas del proceso adecuadas, unas casillas de valoración sensorial para los descriptores suavidad y cuerpo y para la valoración final utilizando las distintas escalas definidas en cada caso. Para los demás descriptores se decidió que apareciera una única casilla en la que se indicara si su estado era correcto, y en caso de no ser marcada que fuera retirada la pieza para su inspección por el responsable del producto y su reprocesado en caso que fuera posible. La hojas comentadas se pueden ver en las figuras 4.2 y 4.3

Una vez incorporado el procedimiento al sistema de calidad, y definidos bien su uso y aplicación. Se debe incorporar definitivamente al sistema de producción el seguimiento sensorial.

Incorporar al sistema de producción

Este punto consistió en la puesta en marcha definitiva del sistema que se había establecido. Fue indispensable, para la plena integración en el sistema de producción, la implicación de la dirección. Ésta decidió la puesta en marcha, una vez cerciorados que el personal implicado ya estaba preparado y que las funciones y documentos estaban bien definidos.

Tipo de Manta	Antes de Implantación	Después de Implantación
Defectuosas	1116 7.84 %	114 0.80 %
Calidad Baja	3256 22.88 %	500 3.53 %
Calidad Media	5358 37.66 %	4698 33.09 %
Calidad Alta	4500 31.62 %	8890 62.58 %

Tabla 4.4: Evolución de la calidad

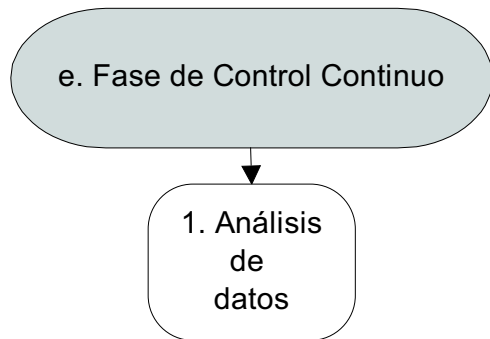
Se estableció un periodo de seguimiento del sistema para controlar su buen funcionamiento y hacer las modificaciones que fueran necesarias en el caso de detectar algún defecto. Se establecieron también sistemas de mejora continua del proceso, como reuniones periódicas o buzones de sugerencias para los empleados.

Se ha constatado que la implantación de este sistema ha producido una reducción significativa del número de defectos y el aumento de la calidad del producto, para la calidades que hasta el momento tenia definida las empresa, reduciéndose notablemente la variabilidad sensorial que hasta el momento existía, como se puede ver en la tabla 4.4. Además ha aportado un sistema estandarizado de comunicación y un mismo lenguaje entre los distintos puntos del proceso que ha facilitado el tratamiento del producto y su mejor procesado. Todo esto ha repercutido en la mejora final del proceso. También se ha de destacar la drástica reducción del tiempo de aprendizaje de los operarios más jóvenes así como de las nuevas incorporaciones.

Todo ello ha repercutido en el aumento de la fidelidad de los consumidores, con el consiguiente aumento en las ventas.

Para el aumento del control del producto y del conocimiento del proceso se recomendó formar en técnicas de análisis multivariante a los técnicos de la empresa.

4.3.5. Fase de Control Continuo



Por último la fase de control continuo es en la que se incorporan las herramientas de análisis de datos para realizar un seguimiento del sistema en su conjunto. Mediante el uso de determinadas técnicas estadísticas se realiza una monitorización del proceso utilizando todas las variables que se miden. Esto permite realizar correcciones y detectar los errores que se produzcan. Para la manta se verán los resultados en el apartado que sigue.

Análisis de datos del sistema

Con el sistema planteado se recogen gran cantidad de datos que apenas son analizados, por ello se decidió que una medida que se debería tomar es formar a los responsables de calidad y de producción en técnicas estadísticas avanzadas. El objetivo es que pudieran utilizarlas para realizar un seguimiento continuado y multivariable del proceso y del producto.

Una de las herramientas a estudiar, sería el Análisis de Componentes Principales (ACP) pues permitiría establecer relaciones entre los descriptores sensoriales estudiados, la medidas realizadas al producto y los defectos que aparecían en él, monitorizando de esta manera el comportamiento del proceso.

Otra de las herramientas que se debería utilizar son los gráficos de control, para un seguimiento continuado de las características del producto con el fin de detectar posibles desviaciones y alteraciones del proceso.

La adaptación, implementación e implantación de estas y otras herra-

mientas de análisis de datos, a las necesidades del sector podría ser tarea una para futuras investigaciones.

Se concluyo que el uso tanto del sistema implantado como de las herramientas utilizadas para su seguimiento y análisis cumplen todas las expectativas planteadas por un principio por la empresa.

Capítulo 5

Diseño de Experimentos para textiles no tejidos

5.1. Introducción

Uno de los factores, que se consideran claves para el mantenimiento de muchas empresas del sector textil en los países industrializados, es la investigación y la innovación en productos técnicos (*Comisión Europea, 2003*). Prácticamente en estas dos últimas décadas, el sector textil ha innovado y elaborando nuevos productos para las más diversas aplicaciones: la agricultura, la construcción, la ingeniería civil, la medicina, . . . Éstos se conocen como textiles técnicos, y son definidos como *todos los productos textiles que no pueden inscribirse dentro de los sectores tradicionales de indumentaria, hogar y decoración (Detrell, 1996)*. Este tipo de productos han tomado una gran importancia en estos últimos años, proporcionando una gran oportunidad para la reconversión de los sectores más tradicionales. Para la industria textil, donde la competencia es cada día mayor, es necesario e imprescindible que las empresas innoven e introduzcan nuevos productos y mejoren el rendimiento de los procesos, para poder así ser más competitivas en un mercado global.

Para la elaboración e investigación en nuevos productos las técnicas es-

tadísticas de Diseño de Experimentos (D.E.) es una herramienta que resulta muy eficaz, puesto que puede aportar inmejorables resultados en cuanto al tiempo de experimentación y la optimización del producto, que de otra forma serían muy difíciles de conseguir. En este capítulo se expondrá una metodología, basada en un tipo diseño de experimentos llamado experimentos de mezclas, que puede ser utilizado para la mejora y elaboración de textiles técnicos. Para poder demostrar las ventajas del uso de las técnicas estadísticas se estudiará su aplicación a un producto, como se verá en al capítulo siguiente.

5.2. Textiles Técnicos

Utilizar textiles para usos diferentes a los habituales, el vestir y la decoración del hogar, es algo que se viene llevando a cabo desde tiempos inmemoriales. Pero ha sido en estos dos últimos decenios, cuando estos textiles han adquirido una importancia creciente, tanto en consumo como en diversificación de las aplicaciones (agricultura, construcción, ingeniería civil, medicina, industria, protección personal, deporte, . . .). El consumo mundial de textiles técnicos en el año 2000 fue de 13,7 millones de Tm y generó 69.600 millones de euro. La distribución, a nivel mundial, de la producción de textiles técnicos sobre la producción de textiles en general es la que se puede ver en la tabla 5.1.

Estas cifras indican el amplio margen que dispone de crecimiento, producción y consumo este sector. Y por tanto muestran el prometedor futuro de este tipo de textiles.

Se puede afirmar que los textiles de uso técnico son *materiales que dan respuesta a exigencias técnico-cualitativas elevadas confiriéndoles la aptitud de adaptarse a una función específica y a su entorno*. Algunas de las áreas de utilización (Detrell, 1996) de éstos son:

- a. Textiles para agricultura (Agrotextiles): Alguna de sus aplicaciones son :protección de cultivos, regadío, cuerdas, bolsas, pesca, . . .
- b. Construcción y arquitectura textil (Constructextiles): Las aplicaciones posibles son: cubiertas, estructuras tensadas, protección, refuerzo, insonorización, . . .
- c. Textiles para la ingeniería civil (Geotextiles): Se pueden utilizar como: materiales compuestos, materiales recubiertos, filtración, aislamiento térmico, limpieza, cintas transportadoras, . . .
- d. Textiles pa los sectores médico, higiénico y hospitalario (Medtextiles): Los usos que se le pueda dar son: menaje hospitalario, indumentaria sanitaria, cirugía y traumatología quirúrgica, . . .

País	%
Japón	45
Alemania	25
EEUU	32
Francia	22
Europa Occidental	27
España	16
China	11

Tabla 5.1: Porcentaje de textiles técnicos sobre producción total

- e. Textiles para vehículos, transporte y embalaje (Moviltextiles): Siendo sus usos: interiorismo en medios de transporte, aeronáutica y navegación, automóvil, embalaje, transporte de mercancías,...
- f. Textiles para protección personal (Protectextiles): Se puede usar en: protección contra riesgos mecánicos, protección contra el calor y las llamas, visibilidad, protección radiaciones, protección contra el frío,...
- g. Textiles para el deporte y tiempo libre (Sportextiles): Se usa en prendas y calzado, material deportivo e instalaciones deportivas.
- h. Textiles para la protección medioambiental (Ecotextiles): Se utiliza para protección de: las atmósfera, el suelo, el agua, la vegetación o contra el ruido.

Debido a las variadas aplicaciones existen numerosas clases de textiles técnicos, por lo que sería imposible abarcar en esta tesis su estudio, por eso el trabajo se ha enmarcado dentro de las llamadas telas no tejidas. Éstas últimas, que pueden tener muy diversas aplicaciones, constituyen más de la mitad del total de estructuras textiles laminares de usos técnicos, debido a las posibilidades que ofrecen frente a otros tipos de tejidos como los de calada o los de punto. Según la norma UNE-EN ISO 29092:1992 se entiende por textiles no tejidos: *Lámina fabricada constituida de velo o capas de*

fibras orientadas direccionalmente o dispuestas al azar, ligadas por fricción y/o cohesión y/o adhesión, con exclusión del papel y productos que son tejidos tricotados, afelpados, unidos por costuras incorporando hilos de unión o filamentos, enfieltrados en batanado húmedo, ya sean o no trabajados con agujas de modo adicional.

Como se deduce de la propia definición, hay diversos tipos de telas no tejidas, que se pueden clasificar según el modo en que se forman los velos: por vía seca, vía húmeda o por vía fundida. Para formar los velos se pueden utilizar uno o varios tipos de fibras, dependiendo de la tecnología que se utilice para entrelazarlos y su posterior consolidación. La investigación se centrará en aquellos textiles no tejidos que se formen mediante la mezcla de diversas fibras pues es muy amplia la gama de productos que se pueden estudiar.

Una vez introducidos los tipos de productos sobre los que se va a trabajar, los textiles no tejidos elaborados mediante la mezcla de diversas fibras, se describe de la técnica estadística que se debe utilizar para mejorar y optimizar este tipo de artículos, el Diseño de Experimentos.

5.3. Diseño de Experimentos para Textiles

Para diseñar nuevos productos se necesitan herramientas que nos faciliten la toma de decisiones, sean eficaces y rápidas en el tiempo. Está sobradamente demostrado que el uso de experimentos diseñados en el desarrollo de productos da como resultado productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, menores costos y menor tiempo de diseño y de desarrollo del producto, puesto que reducen la variabilidad en las características de calidad y determinan el rendimiento óptimo del proceso.

El diseño de experimentos es una de las herramientas estadísticas más eficaces para la elaboración y el diseño de productos. Un experimento diseñado es *una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida* (Montgomery, 1991). Existen muchos tipos de Diseños de Experimentos, que han ido evolucionando y mejorando a lo largo de su corta historia. Desde sus primeras aplicaciones industriales en 1930, en la industria de la lana británica, hasta la actualidad son numerosos sus campos de aplicación y ha quedado más que demostrada su capacidad como método inductivo y de observación directa. En esta sección no se hablará del diseño de experimentos de forma general sino que se centrará en el caso particular del que se ha hecho uso. Existe numerosa bibliografía al respecto, siendo los siguientes autores los que aportan las referencias más clásicas: (Box 1978), (Box 1987), (Montgomery 1991), (Morgan 1991), (Myers 1995) y (Jeff Wu 2000).

El diseño estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones validas y objetivas. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos. Estos aspectos están íntimamente ligados porque el método de análisis depende directamente del diseño empleado.

5.3. Diseño de Experimentos para Textiles

La aplicación general de las técnicas de diseño de experimentos tiene como objetivo la selección de un subconjunto óptimo de combinaciones de valores de los factores que tienen influencia en el experimento, que permita extraer información sobre su efecto en el resultado con el mínimo coste. Esto permitirá encontrar las condiciones óptimas de elaboración del producto según las prestaciones que se persigan.

Como ya se ha comentado anteriormente, los textiles técnicos son prendas que deben cumplir especificaciones muy concretas según los distintos usos asignados, por lo tanto, es de suma importancia para este tipo de productos que las prestaciones sean óptimas. De aquí se deduce que la utilización de las técnicas de diseños de experimentos para diseñar y/o mejorar este tipo de productos puede ser de gran utilidad, puesto que introducen mejoras en el proceso, se reduce la variabilidad, se reduce el tiempo de desarrollo y se llega a una reducción de los costos globales.

Los textiles técnicos son muy variados por eso se ha decidido centrar el estudio solo para las denominadas telas no tejidas, y en concreto solo para aquellas telas que se formen mediante la mezcla de diversos tipos de fibras. Debido a que esta característica del producto a estudiar se utilizará un tipo de diseño de experimentos específico para estos casos: Los experimentos de mezclas. A continuación se expone información relativa a este tipo de diseño.

5.3.1. Los Experimentos de Mezclas

El problema que se va a resolver, la optimización de las prestaciones de telas no tejidas, se engloba dentro de los denominados Problemas de Superficie de Respuesta. La resolución de este tipo de problemas requiere de tres herramientas estadísticas y matemáticas conocidas como son: el diseño de experimentos, las técnicas de modelización y los métodos de optimización. La integración de determinados conceptos de estas tres técnicas es lo que se conoce como Metodología de Superficie de Respuesta (*RSM Response Surface Methodology*), utilizada principalmente para diseñar, desarrollar y formular nuevos productos así como mejorar los que se producen. La RSM se

encarga de modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta, o varias, de interés es influenciada por varias variables y el objetivo es optimizar la respuesta o respuestas. En nuestro caso se debe utilizar un tipo especial de problema de superficie de respuesta, los experimentos de mezclas, ya que los factores con los que se trabaja son las componentes o ingredientes de una mezcla y la respuesta es función de la proporción de cada ingrediente presente en la mezcla.

La caracterización de un problema de mezclas clásico queda definida como sigue:

En general, una mezcla consiste en q ingredientes o componentes, donde x_i representa la proporción del ingrediente i -ésimo en la mezcla. Se requiere que:

$$x_i \geq 0 \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, q$$

$$\sum_{x_i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

Esta última restricción hace que los factores x_i no sean independientes, hecho que los diferencia de los experimentos de superficie de respuesta generales. La región experimental de un problema de mezclas con q componentes es un *simplex*, el cual es una figura de caras regulares con q vértices en $q - 1$ dimensiones. El sistema de coordenadas para las proporciones de la mezcla es el sistema de coordenadas simplex. En la figura 5.1 podemos ver el sistema de coordenadas para el caso de tres componentes ($q = 3$).

En el planteamiento general de problema, toda la región simplex es investigada y las únicas variables que intervienen en el diseño son las componentes de la muestra x_1, x_2, \dots, x_q . Existen muchas variaciones del problema original de mezclas, algunos los proporcionan: la existencia de cotas superiores o inferiores en la componentes, añadir al problema de mezclas variables del proceso, que la mezcla cambie dependiendo de la cantidad de componente aplicada, . . . , etc

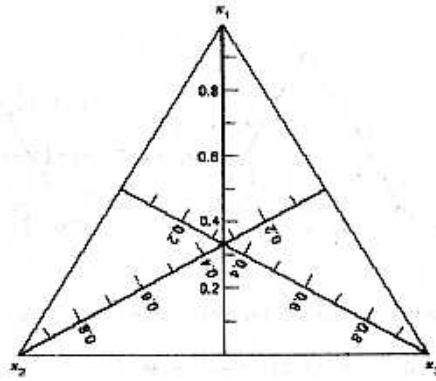


Figura 5.1: Sistema de coordenadas simplex para tres componentes

Las características de nuestro problema nos llevará a recurrir a alguna de las variaciones antes mencionadas, aun así, se hará una breve reseña de los diseños originales de un problema de mezclas así como los polinomios que se utilizan para modelizar.

Una vez introducido el tipo de diseño de experimentos que se va a utilizar, se expondrán a continuación las causas que han llevado a proponer la realización de esta experiencia y los objetivos que se pretenden alcanzar con esta aplicación.

5.3.2. Causas y Objetivos.

Son varias las causas que han llevado a proponer la metodología que será expuesta a continuación. Entre ellas se puede destacar:

- La poca implantación de este tipo de herramientas estadísticas en el sector.
- El gran aporte que da el uso de estas técnicas a los productos y procesos.
- La falta de sistematización y carácter científico de las pruebas que se realizan habitualmente, con la consiguiente pérdida de validez.

- La necesidad de aplicación de estas herramientas por parte de los técnicos de empresas.
- La recomendación de la Comisión Europea en el informe sobre el futuro del sector textil, en cuanto a los esfuerzos en materia de investigación y desarrollo, . . . *de mejora de los métodos de ensayo (Comisión Europea, 2003)*.

Esta serie de causas, llevan a proponer los objetivos que se quieren alcanzar con la aplicación del diseño estadístico de experimentos a determinados productos textiles. Éstos son:

Mejorar el rendimiento del producto y del proceso.

Conseguir que el producto tenga un buen funcionamiento, un comportamiento robusto, poco variable, en sus condiciones de campo. Se debe conseguir que los requerimientos que se le hacen al producto sean conformes a los valores deseados.

Facilitar su uso.

Proporcionar una herramienta que pueda ser utilizada de forma continuada por personas no especialistas en estadística es otro de los propósitos que se pretenden abordar.

Abordar un problema real.

Estudiar un problema real con un determinado producto para demostrar la eficacia de estas técnicas.

Reducir el tiempo y los costos.

Lograr una reducción de los costos de producción y del tiempo en desarrollar el producto.

Mejorar los métodos de ensayo.

Asegurar una metodología que garantice la validez de las pruebas, los datos. De forma que lleven a conclusiones objetivas.

Una vez enumerados los objetivos a los que se quiere llegar se expondrá la metodología que se propone para optimizar productos textiles técnicos que se elaboren mediante la mezcla de distintas fibras.

5.3.3. Metodología

Una vez vistos tanto los objetivos que se quieren abordar como, de forma general, el tipo de artículo sobre el que se quiere actuar, es necesario establecer la metodología necesaria para abordar situaciones y problemas con estas características. Hay que tener en cuenta que los procedimientos que se proponen no pueden utilizarse si el producto no procede de la mezcla de varias componentes. Se van a definir los pasos a seguir, así como los aspectos que se deberían tener en cuenta para afrontar con éxito el problema que se pretende resolver. Se expondrá, de forma general, las herramientas que se pueden aplicar en cada situación según el tipo de mezcla, haciendo sobre todo hincapié a aquéllas que serán utilizadas en el capítulo siguiente para el caso estudio.

La metodología propuesta se divide en tres grandes periodos diferentes: El primer periodo es el de definición, en el que se deben establecer claramente los objetivos que se quieren alcanzar para después hacer la elección de las variables (los factores, las de proceso y las respuestas) y sus niveles y rangos, definiendo por ultimo el diseño que se quiere realizar. El segundo periodo, el de la experimentación y la modelización, es en el que se realizan las experiencias que se han programado previamente y se analizan estadísticamente los datos obtenidos, construyendo los modelos. Por último, el tercer periodo de optimización y mejora, es en el que se buscan las condiciones óptimas para las características de calidad del producto que han sido estudiadas según la aplicación que se le de y se toman las decisiones oportunas para la consecución de la mejora del producto y del proceso. A modo de esquema se puede ver la siguiente figura 5.2.

En la metodología propuesta se incluyen los siguientes pasos:

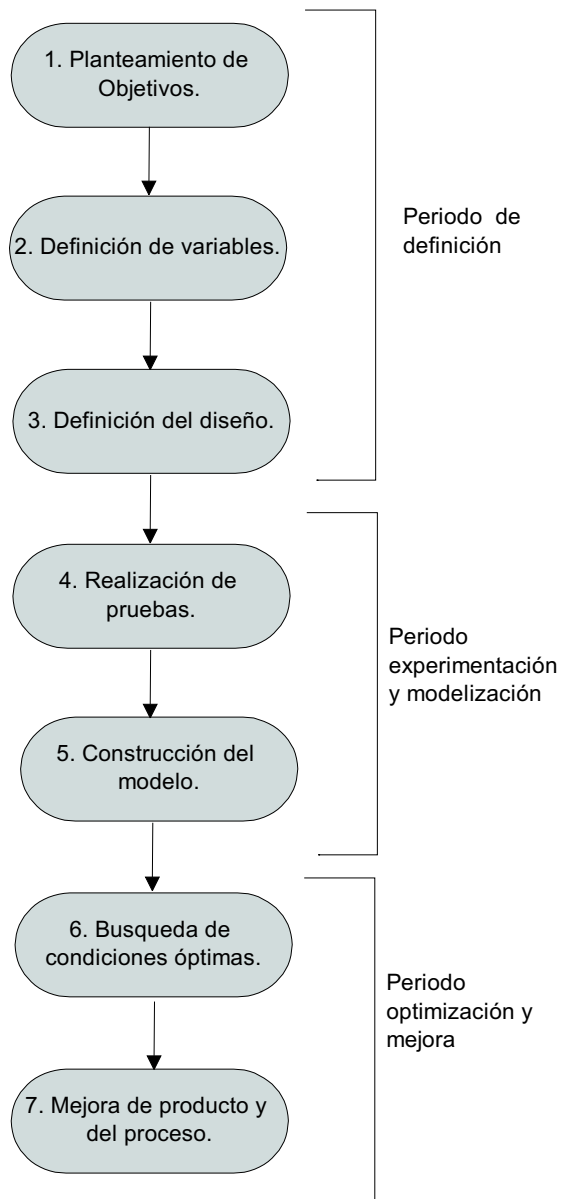


Figura 5.2: Metodología para textiles no tejido mediante mezclas

5.3.3.1. Planteamiento de objetivos.

En primer lugar es necesario que todas las personas que participan en el sistema de producción, desde los directivos hasta los operarios, tengan una idea clara de qué es lo que exactamente se pretende conseguir. Por ello es necesario la formación de un equipo de trabajo para que dirija la experimentación y coordine todos los trabajos. Se deben establecer unas primeras reuniones en la que se definan claramente los objetivos que se pretenden alcanzar, así como que se enuncie de forma clara las cuestiones específicas que habrá que abordar en el experimento.

Es conveniente hacer una lista de problemas o de preguntas específicas que vayan a abordarse en el experimento. Un enunciado claro del problema contribuye sustancialmente para alcanzar una mejor comprensión de los fenómenos bajo estudio y la solución final de problema.

Se deben plantear los objetivos de mejora que se quieren alcanzar para lo que se hace necesario conocer bien el producto y el proceso sobre el que se quiere actuar. En caso que lo que se pretenda es elaborar un nuevo producto se ha de tener en cuenta las características y objetivos que se quieren obtener con él.

En esta etapa es cuando se ha de considerar si es mejor realizar un experimento comprensivo extenso que responda a todas las cuestiones clave o conviene más realizar el experimento desde un enfoque secuencial, en el que se realizan una serie de experimentos más pequeños. Esto dependerá de los objetivos que se hayan planteado.

Se debe realizar una enunciado del problema, solicitando a todas las personas involucradas en el producto: clientes, técnicos, operarios, comerciales,... las aportaciones que consideren necesarias. Se debe transmitir a todos los miembros la importancia de realizar las experimentaciones correctamente y del beneficio que conllevará a todos.

5.3.3.2. Elección de factores y definición de variables.

La primera tarea que debe realizar el equipo de trabajo es la elección de los factores que van a intervenir en el experimento. Deben distinguir entre los factores potenciales del diseño y los factores perturbadores. Los factores potenciales del diseño son aquellos que el equipo de trabajo quieran hacer variar para estudiar la influencia sobre las variables respuesta.

En los experimentos de mezclas, tal y como ya se ha comentado anteriormente, los factores principales son las componentes que intervienen en la mezcla (X). Se puede incluir como factores del diseño las variables del proceso. Serán candidatas aquellas de las que se sospeche que una posible variación de éstas puedan tener alguna influencia sobre la mezcla.

En cuanto al modo de actuar sobre los factores perturbadores, es interesante prestarles atención y tenerlos controlados, a pesar de que no se tengan interés para el contexto del experimento, para que siempre se pueda considerar su influencia sobre los resultados. Se deberá pensar como controlarlas en los valores deseados y como se deberán medir.

Una vez se han identificado los factores, se deben elegir los rangos en los que se hará variar a los factores, así como los niveles que cada variable usará, para definir correctamente la región de interés. Para todo ello es necesario que en esta fase participen aquellas personas que mayor conocimiento del proceso tengan, de forma que se combine la experiencia práctica con los conocimientos teóricos. Es importante investigar todos los factores que pueden ser de importancia y no dejarse influir demasiado por la experiencia pasada.

Para el caso de las mezclas se deberá de averiguar el número de componentes con las que se hace la mezcla, así como si existe alguna restricción sobre las proporciones ha utilizar de alguna de ellas, puesto que este hecho cambiaría la forma de abordar el problema.

Para seleccionar las variables respuesta (Y) se debe tener la certeza que proporcionarán información útil sobre la calidad y las características del proceso y del producto. Se debe tener en cuenta cuales son las características de calidad, sobre las que se quiere estudiar los efectos de los cambios en la

mezcla para la mejora del producto.

Otro de los factores importante durante este periodo son los instrumentos de medición. Estos deben de estar bien definidos y comprobada su eficacia para las medidas que deba realizar.

Sobre esta fase gravitará la mayor parte del éxito del experimento de ahí la importancia de que se expongan todos los puntos de vista y la información del proceso. Coleman y Montgomery (*Coleman y Montgomery, 1985*) proporcionan hojas de trabajo que suelen ser útiles en este punto previo al experimento.

Una vez definidos las factores, sus niveles y rangos, y las variables respuesta, se debe definir el diseño que se quiere utilizar. Cuando se realiza una mezcla, los diseños que se utilizan son los experimentos de mezclas, cuyas particularidades ya han sido expuestas en el punto anterior. A continuación se expondrán distintos diseños, que varían según la complejidad de las componentes y de la complejidad del problema.

5.3.3.3. Definir el diseño.

La elección del diseño implica la consideración del tamaño de la muestra, la selección de un orden adecuado de realización para los ensayos experimentales y la determinación de si entran en juego o no la formación de bloques u otras restricciones sobre la aleatorización. También es importante tener en cuenta los objetivos experimentales.

Cuando se realiza un experimento de mezclas, el tipo de diseño a utilizar dependerá en gran medida de como se hayan definido las variables en el punto anterior. Se pueden hacer las siguientes distinciones:

- Si no existen restricciones sobre las componentes, el problema se abordará por medio de los métodos simplex (ver 5.3.3.3.a página 140).
- En cambio si hay restricciones sobre las proporciones de las componentes habrá que ver de que tipo se trata , inferiores, superiores o ambas, para utilizar el método que mejor resuelva el problema en cada caso (ver 5.3.3.3.b página 143).

- Por otra parte la inclusión de variables del proceso hará que el diseño que se debe plantear difiera del planteamiento inicial (ver 5.3.3.3.c página 148).

Otro aspecto importante ha tener en cuenta a la hora de plantearse el diseño que se ha de utilizar es si existe algún tipo de restricción sobre el número de pruebas que se pueden realizar. Este va claramente relacionado con el modelo que a priori se pretende estimar, puesto los grados de libertad para el análisis del modelo estimado dependerán del número de pruebas que se realicen. Esto hace que sea necesario plantear inicialmente el modelo que se quiere estimar, esto se verá en el punto 5.3.3.5.

5.3.3.3.a Diseños simplex: Las principales diferencias entre los experimentos estándar de superficie de respuesta y los experimentos de mezclas son:

1. El tipo de diseño que es utilizado.
2. La forma del polinomio de mezclas es significativamente diferente a los polinomios utilizados en la RSM.

Los diseños de mezclas se emplean para encontrar la combinación óptima de los componentes que nos lleven a obtener la calidad deseada, por medio de un modelo que permita predecir el valor de la variable dependiente en función de sus componentes. En este punto se exponen los diferentes tipos de diseños que se pueden utilizar en un problema de mezclas clásico, estos son:

$$\text{Diseños Simplex} \begin{cases} \text{Diseño red simplex} \\ \text{Diseño centroide simplex} \\ \text{Diseño simplex puntos axiales} \end{cases}$$

Con la construcción del diseño obtenemos los puntos que después permitirán ajustar el modelo. A continuación se hará una breve descripción de los diseños más utilizados:

Diseño en red simplex

Los diseños en red simplex fueron propuestos inicialmente por Scheffé en 1958. La característica principal de este diseño es que sus puntos están distribuidos uniformemente sobre toda la región simplex. Un diseño de este tipo para q componentes está asociado a un modelo polinomial de grado m . La cantidad de ingrediente para cada uno de los q componentes son los $(m + 1)$ valores igualmente espaciados de 0 a 1 definidos como:

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, q$$

Todas las posibles combinaciones de las proporciones que sumen la unidad definen la mezcla o los puntos utilizados en el diseño. Los diseños en red simplex se denotan como $\{q, m\}$ siendo q el número de componentes y m el grado del polinomio. El número de puntos en este tipo de diseños se obtiene mediante:

$$N = \frac{(q + m - 1)!}{m!(q - 1)!}$$

Una vez encontrados los puntos a experimentar se debe considerar la forma del modelo polinomial apropiado. En las figuras siguientes (5.3) podemos ver los puntos de diseño para el caso de tres y cuatro componentes.

Diseño centroide simplex

El diseño del centroide simplex fue propuesto por Scheffé en 1965. Este diseño, a diferencia del diseño en red simplex, incluye observaciones de mezclas en donde los componentes aparecen en igual proporción. El número de puntos distintos que acompañan a este tipo de diseños es $2^q - 1$. Estos puntos corresponden a q permutaciones de $(1, 0, \dots, 0)$, que es la mezcla compuesta por un componente puro, las $\binom{q}{2}$ permutaciones de $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \dots, 0)$ o sea todas las mezclas binarias, las $\binom{q}{3}$ permutaciones

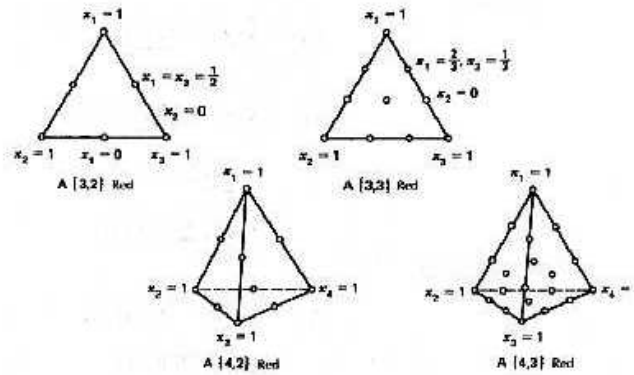


Figura 5.3: Diseños en red simplex para $q=3$ y $q=4$ componentes

de $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0)$ es decir todas la mezclas terciarias, . . . y así sucesivamente hasta el punto centroide general $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$. Ha este tipo de diseños se le asocia un polinomio de mezclas de q -ésimo orden.

Diseño simplex con puntos axiales

Los diseños simplex con puntos axiales se caracterizan por considerar puntos de mezclas de las q componentes dentro de la región simplex, y se recomiendan cuando se desea explorar la superficie de respuesta de un experimento con mezclas.

Cornell (1975) define el axial del componente i como una línea que se extiende del punto base $x_i = 0$, pasando por los $x_j = \frac{1}{(q-1)}$ para toda $j \neq i$, al vértice opuesto donde $x_i = 0$ y $x_j = 1$ para toda $j \neq i$. Los puntos axiales son posicionados sobre el axial a una distancia Δ del centroide general $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$. El máximo valor que puede tomar Δ es $\frac{(q-1)}{q}$. Myers y Montgomery (1995) recomiendan que los puntos axiales sean colocados a la distancia $\Delta = \frac{(q-1)}{2q}$. Para este tipo de diseños se recomienda que el modelo polinomial se vaya construyendo de forma secuencial empezando por un polinomio simple, hasta llegar al orden que mejor se ajuste.

5.3.3.3.b Otros diseños de mezclas: En este apartado se va a exponer algunos de los casos en que el problema original del experimento de mezclas varia. Estas variaciones se pueden producir por varias causas, la existencia de cotas en las proporciones de las componentes, variación de la mezcla dependiendo de la cantidad de componente que se utilice, influencia de las variables del proceso, . . . Para algunos de estos nuevos problemas de mezclas no se podrá recurrir a los diseños y modelos mencionados con anterioridad, utilizando los diseños y modelos que mejor se adaptan a la nueva situación. A continuación se describen algunos de estos casos.

Restricciones en las proporciones de las componentes: En muchos experimentos existen restricciones sobre las proporciones de las componentes. Estas pueden ser cotas inferiores o superiores o ambas con la forma $L_i \leq x_i \leq U_i$ para $i = 1, 2, \dots, q$ donde L_i es la cota inferior, es decir, la mínima proporción que se puede gastar en la mezcla para la i -ésima componente y U_i representa la cota superior, o sea la máxima proporción de la i -ésima componente que puede estar presente en la mezcla. La forma general que toma ahora el problema de mezclas con restricciones es la siguiente:

$$\sum_{x_i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i \quad i = 1, 2, \dots, q$$

donde $L_i \geq 0$ y $U_i \leq 1$ para $i = 1, 2, \dots, q$

El efecto de las restricciones es el limitar el area factible para el experimentos de mezclas en una subregion del simplex. O sea, este tipo de problemas están limitados a explorar una subregion factible del simplex.

Se van a exponer los diferentes tipos de problemas que se plantean según el tipo de restricción que aparezca sobre las componentes.

- a. Cotaciones inferiores en las componentes

Si se considera solo el caso en que las cuotas son inferiores, el problema de mezclas restringido queda como indica la ecuación:

$$\sum_{x_i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

$$L_i \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, q$$

Se debe destacar que la imposición de límites inferiores no afecta la forma de la región factible de mezclas, siendo esta todavía una región *simplex*. Si todos los límites inferiores son iguales ($L_1 = L_2 = \dots = L_q$) el centroide de la pequeña región *simplex* descrita será el mismo que el de la región *simplex* original.

Para resolver este tipo de problemas se recurre a la definición de un nuevo conjunto de componentes, llamadas *L-pseudocomponentes* o *pseudocomponentes*, que definen de nuevo una región para valores entre 0 y 1. La transformación que se realiza es:

$$X_i = \frac{x_i - L_i}{1 - L}$$

donde

$$L = \sum_{i=1}^q L_i < 1$$

es la suma de todos los límites inferiores.

La región que se consigue con los *L-pseudocomponentes* es la misma que la región *simplex* original, lo que permite utilizar los mismos tipos de diseños (Diseño en red *simplex*, Diseño centroide *simplex*, Diseño *simplex* con puntos axiales) que para el problema original. Una vez elegido el tipo de diseño para los puntos del diseño en X_i , se vuelven a obtener las componentes de inicio utilizando la expresión

$$x_i = L_i + (1 - L)X_i$$

Se recomienda la utilización de las pseudocomponentes, puesto que en los diseños con espacios restringidos normalmente se tiene niveles altos de multicolinealidad. Esto puede provocar que la varianza de los coeficientes de regresión del modelo estén infladas. En general, el modelo de mezclas con pseudocomponentes tiene niveles de multicolinealidad inferiores al mismo modelo realizado con las componentes originales.

b. Cotas superiores en las componentes

Cuando las componentes solo se ven afectadas por cotas superiores su tratamiento difiere del anterior, puesto que hay casos en que la región factible definida no es una región simplex.

En el caso en que la cota superior tenga la forma $x_i \leq U_i$, Cornell en 1990 propuso una simple modificación del diseño con puntos axiales (latice simplex) consistente en reemplazar las componentes restringidas por mezclas consistentes en combinaciones de las componentes restringidas y combinaciones predeterminadas de las componentes sin restricción. Cuando este tipo de restricciones definen una región que no es simplex también se puede recurrir a diseños alternativos como los basados en el criterio de D-optimalidad que se comentarán más adelante.

En algunos casos, el espacio definido por las restricciones sí que es un simplex. En general, cuando haya cotas superiores, la región factible será un simplex invertido que estará dentro de la región simplex original sí y solo sí

$$\sum_{i=1}^q U_i - U_{min} \leq 1$$

En estos casos, Croiser (1984) propuso el uso de pseudocomponentes o U-pseudocomponentes:

$$u_i = \frac{U_i - x_i}{\sum_{i=1}^q U_i - 1}, \quad i = 1, 2, \dots, q$$

donde

$$\sum_{i=1}^q U_i > 1$$

permitiendo el uso de las técnicas para los diseños simplex originales. La interpretación ha de ser cuidadosa puesto que el espacio del diseño es el simplex invertido.

c. Cotas inferiores y superiores en las componentes

Se va a considerar el caso en que las componentes tengan restricciones tanto inferiores como superiores ($L_i \leq x_i \leq U_i$ para $i = 1, 2, \dots, q$). En estos casos, la región factible no es simplex, luego no se pueden utilizar los diseños tipo simplex expuestos con anterioridad. En general cuando existen este tipo de restricciones el espacio factible del diseño es un hiperpolitopo irregular. Se va a exponer brevemente los tres tipos de diseños más utilizados en este caso:

- Diseños de Vertices Extremos (Extreme Vertices Designs)

Los vertices extremos se forman por la combinación de las cotas superiores e inferiores de las restricciones. McLean y Anderson (1966) propusieron utilizar estos puntos como base del diseño, junto con un subconjunto de los centroides de la figura o los puntos restantes que están en el centro de los bordes, caras, y así sucesivamente, incluyendo la totalidad de centroides de la región. Estos autores demostraron que con esta estrategia que pueden asumirse los modelos cuadráticos como adecuados para describir la variable respuesta. No se va profundizar en este aspecto puesto que carece de interés para esta investigación.

- Diseños D-óptimos (D-Optimal Designs)

El criterio de D-óptimo puede ser utilizado en la selección de puntos del diseño de mezclas con región restringida. Este criterio selecciona los puntos del diseño de una lista de puntos candidatos para los que la varianza del coeficiente de regresión del

modelo es mínima. Existen variedad de algoritmos para la búsqueda de coordenadas de los vértices de la región restringida, siendo los más conocidos los propuestos por autores como McLean y Anderson 1966 (algoritmo de vértices extremos), Snee y Marquardt 1974 (algoritmo XVERT), Nigam y otros 1983 (algoritmo XVERT1) y el algoritmo descrito por Cornell 1990 (basado en los U-pseudocomponentes). Este tipo de diseños, por el interés que tienen para esta tesis, serán expuestos con más detenimiento en puntos sucesivos.

- Diseños Distance-Based

El criterio de selección de puntos basados en distancias intenta separar los puntos del diseño uniformemente sobre la región factible. El algoritmo de selección de puntos es muy sencillo: Se empieza por el punto que este tan cercano como sea posible del vértice de la región no restringida, y se añade a este el punto para el que la distancia Euclídea al primer punto sea máxima. Todos los puntos siguientes son añadidos de forma similar, es decir, se elige el punto para el cual la distancia euclides mínima a los otros puntos en el diseño es máxima. Obviamente, este criterio requiere una parrilla de puntos candidatos, recomendándose utilizar los mismos que se utilizan para el criterio de D-óptimo. Este criterio carece de interés en nuestro caso por lo que se remite a autores como Montgomery o Cornell en el caso que se quiera conocer con más profundidad.

d. Restricciones multicomponentes

Además de las restricciones de las componentes de forma individual, presentadas con anterioridad se pueden incorporar al problema de mezclas restricciones del tipo:

$$C_j \leq A_{1j}x_1 + A_{2j}x_2 + \dots + A_{qj}x_q \leq D_j$$

para $j = 1, 2, \dots, m$ llamadas restricciones multicomponente. En oca-

siones el valor de la constante A_{ij} puede ser cero, es decir, no todas las componentes están forzadas de pertenecer a la restricción. Cuando aparecen problemas de mezclas con restricciones multicomponentes la forma de la región factible del experimento cambia en función de ésta. En la mayoría de ocasiones, la región obtenida no será la región simplex, haciendo que varíe el número de vértices y ejes. Para diseñar este tipo de experimentos, Piepel (1988) publicó un algoritmo llamado CONVRT, que permite localizar los vértices extremos de la región cuando las restricciones multicomponentes están activas.

5.3.3.3.c Experimento de mezclas con variables del proceso: El experimento de mezclas original se puede ver modificado cuando se pretende introducir en el, además de las componentes que intervienen en la mezcla, alguna variable que intervenga en el proceso. Las variables del proceso son factores que no pertenecen a las componentes del experimento pero que pueden afectar a las propiedades de la mezcla. En general se puede trabajar con q componentes de la mezcla x_1, x_2, \dots, x_q y p variables del proceso z_1, z_2, \dots, z_p .

Hay dos formas que se pueden tener en cuenta para introducir las variables del proceso en el experimento:

- La primera forma de tenerlas en cuenta implica la transformación de las variables de la mezcla en $(q - 1)$ variables independientes y entonces se tratan los $p + q - 1$ factores como un experimento convencional, no como un experimento de mezclas. La utilización de ratios en las variables de mezclas es una de las transformaciones más extensamente utilizadas en la práctica. Cornell (1990) propone otros tipos de transformaciones para conseguir un conjunto de $(q - 1)$ variables independientes.
 - La segunda forma para introducir las variables del proceso es directamente en el modelo las componentes de la mezcla. Esto implica crear un diseño de mezclas en cada combinación de los tratamientos utilizando un diseño factorial para las variables del proceso. Se debe crear
-

el factorial de las variables del proceso en cada punto del diseño de mezclas.

Cuando el número de componentes y de variables del proceso se incrementa, el tamaño del diseño es muy extenso. Varios autores proponen fraccionar los diseños, aunque no es obvio que sea la mejor opción. Este problema se complica cuando existen restricciones en las componentes de las mezclas, y el espacio de la mezcla es un hiperpolitopo. El criterio de D-optimalidad es el que se utiliza a menudo en estos casos. Al encontrar una situación parecida a la descrita se ha elegido este tipo de diseño para realizar trabajo que se desarrollará en el capítulo siguiente. Para mayor profundización sobre estas situaciones ver autores como Cornell (1990), Piepel and Cornell(1994) y Cornell (1995).

A continuación se expondrá el criterio que despierta mayor interés para el caso estudio que se ha desarrollado. Este tipo de diseño es el más adecuado cuando tenemos un experimentos de mezclas con restricciones en las componentes y variables del proceso.

Criterio de D-optimalidad: Como se ha comentado anteriormente se ha tenido que recurrir a este criterio para elaborar el diseño puesto es el que mejor se adapta a las características del problema que se va a tratar, ya que los experimentos de mezclas no poseen la propiedad de ortogonalidad de los diseños factoriales. Se define β como el coeficiente de regresión a estimar, $\hat{\beta}$ como la estimación del coeficiente de regresión y b como el vector formado por todos los estimadores anteriores.

De forma intuitiva en un buen diseño se busca que proporcione estimadores precisos, con poca varianza, de los parámetros $\hat{\beta}$ y varianzas de predicción reducidas en todos los puntos del espacio experimental. El criterio de D-optimalidad es un problema de optimización matemática, que se basa en minimizar la varianza $V(\hat{\beta})$ generalizada del vector b de estimadores de β . Esto equivale a minimizar los elipsoides de confianza de β .

El algoritmo que utiliza este criterio se puede describir en los siguientes puntos:

- a. Decidir cuantos puntos experimentales es necesario incluir en el modelo.
- b. Generar un conjunto de puntos candidatos.
- c. Seleccionar aleatoriamente un subconjunto de estos puntos con el número deseado de puntos y calcular el C.N. (Conditional Number) de la matriz experimental. EL C.N. es una medida de la "falta de ortogonalidad" para diseños no ortogonales, en la que cuanto menor sea este valor indica que más esférica será la región y más cerca se estará de un diseño ortogonal.

$$C.N. = \sqrt{\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}}$$

- d. Cambiar uno de los puntos seleccionados por otro y comparar la nueva C.N. con la anterior. Si es menor, el punto viejo es sustituido por el nuevo.
- e. Cuando el cambio de puntos no produce mejoras el algoritmo se detiene y se selecciona el conjunto de puntos que ha proporcionado el menor C.N.

El C.N. depende de la forma del modelo y de los puntos seleccionados, por ejemplo, un diseño D-óptimo con un modelo lineal es aceptable si $C.N. < 10$ y si el modelo es cuadrático será aceptable cuando su C.N. sea menor que 50. Si el C.N. es mayor que 50 la región experimental es demasiado restringida y se recomienda revisar todas las variables y restricciones del diseño y buscar una forma de simplificar el modelo.

En el caso de interés para la tesis se quiere investigar el efecto de las variables del diseño con suficiente precisión como para describir la superficie de respuesta correctamente por lo que se necesitará un modelo cuadrático. El conjunto de puntos candidatos en un diseño D-óptimo son todos los vértices, todos los centros de las aristas, todos los centros de las caras y los centroides de los planos de las restricciones. El criterio de D-optimalidad seleccionará un subconjunto apropiado de entre los puntos candidatos y además se

5.3. Diseño de Experimentos para Textiles

incluirán también varias repeticiones de los puntos centrales. Se puede incluir una muestra de referencia que no pertenece al diseño pero que puede aportar una valiosa información. Las teorías sobre diseños óptimos así como las herramientas disponibles en la evaluación y comparación de los diseños RMS, fueron el resultado de los trabajos efectuados por Kiefer. (Kiefer 1959, 1961, Kiefer y Wolfowitz 1959).

Una vez ya se han definido cuáles son los diseños adecuados para algunas de las situaciones que pueden tener las componentes, se deberían de realizar las pruebas que se hayan definido en el diseño.

5.3.3.4. Realizar pruebas.

En esta parte es de vital importancia controlar con atención el proceso a fin de asegurarse de que todo se está haciendo conforme a lo que se ha planeado anteriormente. Para la realización de las pruebas se deben considerar las situaciones adversas que puedan alterar el resultado de las variables respuesta, como el ambiente externo, el clima, el turno, la hora del día, . . .

Los errores en el procedimiento experimental destruirán la validez experimental. Se sugiere, que cuando las condiciones lo permitan, es conveniente en muchas ocasiones realizar algunas corridas piloto o de prueba. Éstas proporcionarán información acerca de la consistencia del material experimental, una comprobación del sistema de medición, una idea aproximada del error experimental y la oportunidad de poner en práctica la técnica experimental global. Esto ofrece la oportunidad de revisar las decisiones que se han tomado en los puntos anteriores.

Una vez realizadas estas consideraciones se han de realizar las pruebas según el diseño que haya sido elegido y en las condiciones de aleatorización adecuadas, teniendo en cuenta no introducir sesgo en el experimento. Cuando las pruebas están ya realizadas se han de medir las variables respuesta que se ha decidido estudiar.

Una vez realizadas las pruebas y hechas todas las mediciones se deben recoger los datos para que sean analizados estadísticamente, con el fin de

que los resultados sean objetivos y no de carácter apreciativo.

5.3.3.5. Construcción del Modelo.

La ventaja principal de la aplicación de las herramientas estadísticas para el análisis de datos es que agregan objetividad al proceso de toma de decisiones. Éstas, junto a un buen conocimiento del proceso y sentido común, llevarán a conclusiones solidas.

Cuando ya se tiene los resultados para las variables respuesta en cada una de las pruebas del experimento, se han de construir el modelo o los modelos que han sido planteados a priori. Los modelos empíricos son una ecuación derivada de los datos que expresan la relación entre la respuesta y los factores importantes del diseño.

Son varios los tipos de modelización que se puede utilizar, dependiendo del diseño que se haya utilizado previamente. Para los diseños más simples se pueden construir modelos para cada una de las respuesta por medio de los llamados polinomios canónicos o de Scheffé. Una posible alternativa a este tipo de modelización son los modelos basados en proyecciones sobre estructuras latentes o modelos con mínimos cuadrados parciales PLS (*Partial Least Square*), sobre todo para diseños que no sean del tipo simplex. Éste tipo de modelización tiene la ventaja que se pueden modelizar varias variables repuesta a la vez, siendo interpretable todas la variables en su conjunto.

En cada modelo se ha de estudiar si el ajuste planteado es el adecuado. Puede suceder que alguna variable explicativa o factor no sea significativa, esta deberá ser eliminada del modelo, volviendo ha realizar el nuevo ajuste con solo aquellas variables significativas. Con esto se consigue eliminar el ruido que estas variables están aportando al modelo, consiguiendo que las predicciones una vez eliminadas sean más precisas, además de conseguir un mejor ajuste. También puede suceder que alguna respuesta no pueda no ser explicada por el modelo planteado, siendo malo el ajuste. En este caso esta variable no puede ser explicada y no debe ser incluida en el proceso de optimización puesto que no puede ser explicada.

A continuación se hará una reseña a aquellos tipos de modelización que pueden ser utilizados, haciendo hincapié en la modelización utilizada para el caso estudio, el PLS, desarrollando distintos aspecto de su aplicación.

Polinomios de mezclas canónicos: En los diseños que se han expuesto con anterioridad se hace necesaria la modelización para estudiar el comportamiento de la variable respuesta. Se van a introducir las formas de los modelos polinomiales que son utilizados usualmente por los diseños enumerados anteriormente. El grado de polinomio se decidirá en función de los datos que se hayan observado en el diseño. Los modelos de los diseños de mezclas tienen la particularidad que si se plantea un modelo de regresión habitual a causa de la restricción $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$ se sabe que los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q$ no son únicos. La solución parte de sustituir

$$x_q = 1 - \sum_{i=1}^{q-1} x_i$$

en la ecuación, de esta forma se obtienen estimaciones únicas para los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{q-1}$. Esta solución provoca que no se pueda estudiar el efecto del término $\beta_q x_q$ puesto que no está incluido en la ecuación. De este modo se está sacrificando información respecto a la componente q .

Una alternativa es multiplicar algunos de los términos en el polinomio original de superficie de respuesta por la identidad $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$ y después simplificar. Por ejemplo, si consideramos el polinomio de primer orden y multiplicamos el término β_0 por $x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$, se obtiene

$$E(y) = \beta_0(x_1 + x_2 + \dots + x_q) + \sum_{i=1}^q \beta_i x_i = \sum_{i=1}^q \beta_i^* x_i$$

donde $\beta_i^* = \beta_0 + \beta_i$. Esta es la llamada forma canónica del modelo de mezclas de primer orden. En general, la formas canónicas de los modelos de mezclas son las siguientes (por comodidad en la notación no se incluyen los asteriscos en los parámetros):

Lineal

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \tag{5.1}$$

Cuadrático

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad (5.2)$$

Cúbico completo

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j < k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (5.3)$$

Cúbico especial

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (5.4)$$

Los términos de los polinomios de mezclas tienen una fácil interpretación. Geométricamente, desde la ecuación 5.1 hasta la 5.4, el parámetro β_i representa la respuesta esperada para la mezcla pura, y el término $\beta_i x_i$ solo contribuye al modelo cuando $x_i > 0$ y la máxima contribución será cuando $x_i = 1$, siendo en este caso la máxima contribución β_i . El término cuadrático $\beta_{ij} x_i x_j$ contribuye al modelo cuando $x_i > 0$ y $x_j > 0$; la máxima contribución se dará en el punto $x_i = x_j = \frac{1}{2}$ y será $\frac{\beta_{ij}}{4}$. El término cúbico $\beta_{ijk} x_i x_j x_k$ contribuye al modelo cuando $x_i > 0$, $x_j > 0$ y $x_k > 0$ situándonos en el interior de la región simplex y siendo la máxima contribución de magnitud $\frac{\beta_{ijk}}{27}$ en el punto $x_i = x_j = x_k = \frac{1}{3}$.

Estos modelos sufren variaciones en el caso que se quiera introducir en el diseño variables del proceso. Por ejemplo, en el caso de introducir dos variables de proceso, en el modelo cuadrático se obtiene:

$$\begin{aligned} E(y) &= \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_i \sum_{< j}^q \beta_{ij} x_i x_j \\ &+ \sum_{k=1}^2 \left[\sum_{i=1}^q \alpha_{ik} x_i + \sum_i \sum_{< j}^q \alpha_{ijk} x_i x_j \right] z_k \\ &+ \left[\sum_{i=1}^q \delta_{i12} x_i + \sum_i \sum_{< j}^q \delta_{ij12} x_i x_j \right] z_1 z_2 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Este modelo es fácil de interpretar. Los primeros parámetros, en la primera fila, son la partes lineal y no lineal de las componentes del modelo, que se interpretan igual que los parámetros de los modelos anteriores. El resto, miden el efecto de las variables del proceso sobre las componentes de la mezcla en sus formas lineal y no lineal.

La modelización canónica permitirá la interpretación de la variables respuesta en función de las componentes de la mezcla de manera individual. A continuación se desarrollará la modelización multivariante que permitirá la interpretación de las variables conjuntamente.

Modelización PLS: Es un método de regresión desarrollado por H. Wold (1975). Este es un método de proyección sobre estructuras latentes que utiliza mínimos cuadrados parciales que fue presentado como una modificación del algoritmo NIPALS utilizado en PCA (*Principal Component Analysis*). La regresión basada en mínimos cuadrados parciales en ocasiones se denominada PLSR (*Partial Least Squares Regression*), aunque usualmente se utiliza el término PLS que también coincide con las siglas *Projection to Latent Structures*. Geladi (1988) describe el desarrollo histórico de la regresión PLS y realiza una revisión de sus aplicaciones en múltiples campos.

El método PCA maximiza la la varianza de X o de Y con la finalidad de explicar la relación existente dentro de esos conjuntos de variables. Es aquí donde se encuentra la principal diferencia con el PLS cuyo objetivo es buscar direcciones que maximicen la covarianza entre la matriz de variables predictoras X y la matriz de variables respuesta, es decir, PLS busca la relación entre los bloques de datos X e Y , y no las estructuras en esas matrices. Este método utiliza tanto la información contenida en la matriz de variables independientes X , como la información contenida en la matriz de las variables dependientes para realizar la descomposición de ambas. Los loadings del bloque X se calculan a partir de los factores PLS del bloque Y mientras que los loadings del bloque Y se calculan a partir de los factores PLS del bloque X . En este caso, al igual como sucede con las componentes principales obtenidas en PCS, los factores se ven afectados por el pretratamiento al que se

vean sometidos los datos.

La descomposición de las matrices de datos X e Y se obtienen a partir de las siguientes expresiones, que se denominan relaciones externas:

$$X = TP' + E = \sum_{a=1}^A t_a p'_a + E$$

$$Y = UQ' + F = \sum_{a=1}^A u_a q'_a + F$$

Donde las matrices T y U las matrices de scores y las matrices P y Q son los loadings de X e Y respectivamente. E es la matriz de residuos del bloque X cuando se utilizan A variables latentes y F es un paso intermedio en la obtención de los residuos del bloque Y para la a -ésima variable latente. La descomposición de los factores se realiza de forma simultanea estableciéndose entre los scores de X e Y una relación, denominada relación interna:

$$U = TB + H$$

de forma que $\hat{U} = TB$, siendo la forma para cada variable latente $\hat{u} = b_a t_a$ para todo $a = 1, \dots, A$. En este punto se realiza la descomposición de Y utilizando \hat{U} , en el cual se usa la información del bloque X :

$$Y = TBQ' + F$$

siendo B la matriz de regresores de dimensión axa . Seguidamente se puede observar la figura 5.4 de descomposición PLS.

Cuando la matriz Y contiene sólo un vector el método se llama PLS1, mientras que cuando contiene más de una variable el método se denomina PLS2. Es decir, PLS1 predice las variables una a una mientras PLS2 predice todas las variables simultáneamente. En numerosas ocasiones se utiliza PLS2 como técnica de screening con múltiples respuesta y posteriormente se emplea PLS1 para obtener modelos de predicción más satisfactorios. A continuación se desarrollan los algoritmos NIPALS que se utilizan tanto para el PLS2 como para PLS1.

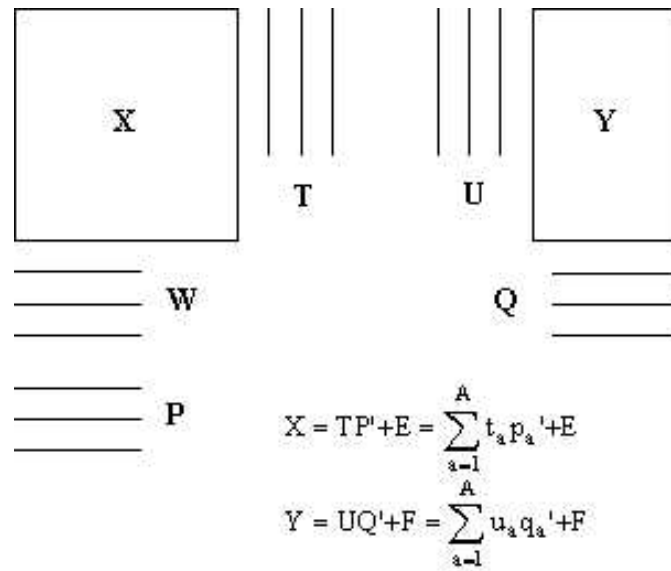


Figura 5.4: Descomposición PLS

El algoritmo NIPALS para PLS2: El algoritmo NIPLAS usado en PCS y PLS (tanto 1 como 2) es un algoritmo especialmente útil cuando se manejan matrices grandes y mal condicionadas (Geladi & Kowalsi 1986). Los algoritmos secuenciales utilizados tradicionalmente calculan todas las componentes y pueden tener problemas al extraer componentes cuyos valores propios asociados son prácticamente nulos. Además, el algoritmo NIPALS maneja mejor situaciones en las que existen datos faltantes (Nelson, Taylor, et al. 1996).

El algoritmo NIPALS para PLS2 se desarrolla en los siguientes pasos:

- a. Centrar y escalar las matrices X e Y apropiadamente, si es necesario. Hacer $f = 1$ (siendo f el número de la interacción), $X_f = X$ y $Y_f = Y$.
- b. Escoger una columna de Y como u_f (vector u inicial). Para iniciar el algoritmo se puede escoger una columna cualquiera de Y , aunque es conveniente escoger la que cumpla $\max|Y_i|$.

- c. Calcular $w_f = X'u_f/|X'u_f|$.
- d. Calcular $t_f = Xw_f$.
- e. Calcular $q_f = Y't_f/|Y't_f|$.
- f. Calcular $u_f = Yq_f$.
- g. Verificar la convergencia: si $|t_{f.nuevo} - t_{f.anterior}| < \varepsilon$ donde ε es el límite de la convergencia, entonces detener el algoritmo. En otro caso volver al paso b.
- h. Calcular el vector de loadings del espacio X : $p_f = X't/|X't|$.
- i. Calcular los coeficientes de regresión de la relación interna $b = u't/t't$.
- j. Actualizar las matrices X e Y : $X_{f+1} = X_f - t_f p_f'$ y $Y_{f+1} = Y_f - b t_f q_f'$.
- k. $f = F + 1$

Repetir los pasos b a k hasta que $f = A$, donde A es el número óptimo de componentes determinados mediante validación.

El algoritmo NIPALS para PLS1: El procedimiento es similar al anterior pero debe sustituirse la matriz Y por un vector, ya que solo hay una variable respuesta.

- a. Centrar y escalar las matrices X e y apropiadamente, si es necesario. Hacer $f = 1$ (f es el número de la iteración), $X_f = X$ y $y_f = y$.
El primer vector u es el vector y . A partir de aquí, el algoritmo funciona de forma análoga al anterior.
 - b. Calcular $w_f = X'u_f/|X'u_f|$.
 - c. Calcular $t_f = Xw_f$.
 - d. Calcular $q_f = y't_f/|y't_f|$.
 - e. Calcular $p_f = X't_f/t_f't_f$
-

$$f. X_{f+1} = X_f - t_f p'_f$$

$$y_{f+1} = y_f - b_f t_f$$

Repetir los pasos b a f hasta que $f = A$ (donde A es el número óptimo de variables latentes determinadas mediante validación).

Calibración y Validación: Una vez expuestos los algoritmos que se han utilizado, se va exponer la forma en que los modelos PLS tienen de comprobar la calidad del modelo, en cuanto al ajuste y la calidad de su predicción. Esto se realiza mediante lo que se denomina calibración y la validación.

- **Calibración:** a partir de un número limitado de muestras, representativas de la población del conjunto de muestras, y de las que se conoce la cantidad de componente o el valor de la propiedad a determinar, se establece el modelo que mejor describe la relación entre los dos bloques de datos, representados en dos matrices distintas. Esta es una forma de comprobar la calidad del ajuste que se está realizando.
- **Validación:** Esta se realiza a partir de un número limitado de muestras, con las mismas propiedades que las de la etapa anterior y no utilizadas en el proceso de calibración, estableciendo la validez del modelo calculado determinando la cantidad de componente o el valor de la propiedad a partir de las señales de este segundo conjunto de muestras, y posteriormente comparándolos con los valores conocidos.

El objetivo más general de la validación es proporcionar una medida de calidad de un modelo multivariante. Se puede entender, en primer lugar, como una estimación del error de predicción, puesto que asegura que el modelo funcionará en el futuro para nuevos conjuntos de datos similares cuantificando además en qué manera lo hará. Y en segundo lugar, la validación es usada para encontrar la dimensionalidad óptima de un modelo multivariante. En validación pueden distinguirse dos

procedimientos básicos: la validación con un conjunto test (*test set validation*) o validación externa y la validación cruzada (*cross validation*) o validación interna.

Predicción con PLS: El modelo calculado y validado se utiliza para predecir los valores respuesta en una muestra a partir de la señal de la misma. A partir de las matrices obtenidas en el proceso descrito puede obtenerse un modelo de regresión estándar:

$$\hat{Y} = XB \text{ donde } B = W(P'W)^{-1}Q'$$

que es una matriz que tiene k filas (número de variables de X) y m columnas (número de variables de Y). Así se obtiene un modelo sencillo de interpretar, sobre todo cuando el número de variables es grande, de forma que para cada variable i de la matriz Y se puede construir la expresión:

$$y_i = b_{1i}x_1 + b_{2i}x_2 + \dots + b_{mi}x_m + f_m$$

los valores de los coeficientes de regresión b_{im} indican la influencia de cada variable x_i en la variable y_m .

Interpretación de los modelos PLS: Los modelos PLS se interpretan de forma similar a los modelos PCA o PCR (*Principal Component Regression*). La representación de los loadings de la matrices X e Y permiten estudiar las relaciones entre variables.

La regresión PLS centra su atención en Y y se espera que la información revelante que extrae quede resumida en las primeras componentes. Pero esto no sucede siempre puesto que en ocasiones algunas variaciones de Y son muy sutiles y por tanto se necesitan más componentes para explicar suficientemente los datos. En estos casos para saber cuantas componentes son necesarias para explicar la varianza de Y , debe estudiarse cómo la varianza de Y se modifica con el número de componentes.

Los modelos PLS proporcionan dos tipos de loadings para la matriz X : P y W . Los loadings P son llamados con frecuencia cargas. Expresan las relaciones entre los datos originales de la matriz y sus scores T . Se utilizan y se interpretan del mismo modo que en PCA o PCR. En muchas ocasiones

P y W son bastantes parecidas, lo que significa que la estructura dominante en X coincide aproximadamente con las direcciones que proporcionan la máxima correlación con Y . La dualidad entre P y W sólo es importante en las situaciones donde las direcciones de P y W difieren significativamente.

Por otra parte los loadings weights, W , representan la carga efectiva directamente ligada con la construcción que se ha realizado en el modelo de regresión buscando la relación entre X e Y . Así, el vector w_1 caracteriza la dirección de la primera variable latente en el espacio X , que es la dirección en la cual todos los objetos van a ser proyectados. Debido a que PLS maximiza la covarianza entre t y u , esta dirección no es idéntica a p_1 que se encontraría por medio de PCA con sólo los datos de X . Las diferencias entre p_1 y w_1 es que esta última informa de como Y ha influenciado en la descomposición de X .

En PLS Q son los loadings de la matriz Y , estos son los coeficientes de regresión de las variables Y sobre los scores U . Los valores de Q y W suelen ser usados tanto para interpretar las relaciones entre las variables X e Y y como para interpretar los patrones en los gráficos de los scores relacionados con esos loadings.

La importancia de P y W se ve clara por la construcción de la ecuación de regresión $Y = BX$ con A componentes, donde $B = W(P'W)^{-1}Q'$ como se ha visto con anterioridad en la predicción.

Una vez visto como se interpretan los modelos PLS se explicará el test utilizado para estudiar que variables son significativas y cuales no.

El Test de Incertidumbre de Martens: Este test que H. Martens desarrolló en 1999 es una nueva forma de examinar la incertidumbre basada en la validación cruzada, el Jackknife y los gráficos de estabilidad. Ayuda a distinguir entre las variables y valores que son significativos y los que no lo son. El test puede utilizarse con modelos PCA, PCR y PLS con validación cruzada (completa o por segmentos). Al realizarse la validación cruzada se construyen una serie de submodelos basados en todas las muestras que no quedan fuera del segmento de validación. Para cada submodelo se cal-

culan los siguientes parámetros: coeficientes β , scores, loadings y loading weights. Además, se genera un modelo global basado en todas la muestras. A continuación se verá como se estudia la incertidumbre para cada tipo de parámetros:

- Incertidumbre de los coeficientes de regresión.

Para cada variable se calculan las diferencias entre los coeficientes de regresión del submodelo i β_i y los coeficientes de regresión en el modelo total β_{tot} . Se calculan las sumas de cuadrados de las diferencias en todos los submodelos para tener una expresión de la varianza estimada de β_i en una variable ($\sum_i(\beta_i - \beta_{tot})^2$). Con un test t se contrastar la significación de los β_i . Así, los coeficientes de regresión obtenidos pueden ser presentados con unos límites de incertidumbre que correspondan a 2 desviaciones típicas, permitiendo detectar que variables son significativas.

- Incertidumbre de los Loadings (L) y Loadings Weights (LW).

Se puede utilizar el mismo procedimiento para estos parámetros del modelo. Sin embargo, para ser capaz de comparar todos los submodelos correctamente, Martens optó por rotarlos. Esto permite además determinar los límites de incertidumbre de estos parámetros.

A continuación se desarrollará algunos aspectos del test que se han de tener en cuenta:

Gráficos de estabilidad:

Los gráficos de estabilidad pueden utilizarse para explicar la influencia de determinadas muestras y variables en el modelo y explicar, por ejemplo, por qué una variable con un coeficiente de regresión elevado puede ser no significativa. Los resultados de los cálculos comentados anteriormente pueden visualizarse como gráficos de estabilidad en puntuaciones, loadings y loadings weights. En modelos con muchas

componentes, resulta difícil realizar una interpretación, especialmente si las primeras componentes no explican mucha varianza. El test de incertidumbre de Martens permite mostrar cuales son las variables significativas en los modelos con muchas componentes y de esta forma facilitar la interpretación. Las variables que no son significativas presentan ruido. Al eliminar estas variables el modelo resulta ser más estable y robusto, y los errores de predicción suelen decrecer. Por tanto, una vez identificadas las variables no significativas usando el test es conveniente recalcular el modelo eliminando estas y verificando después que el modelo obtenido es mejor.

Nueva evaluación de los parámetros del modelo:

La validación cruzada es utilizada como evaluación de la validez predictiva pero en este caso se extiende a la evaluación de la incertidumbre de los parámetros del modelo en cada uno de los segmentos $m = 1, \dots, M$ obteniéndose una versión perturbada del modelo. Cada modelo perturbado se basa en todos los objetos excepto uno o más objetos que se mantienen fuera en ese segmento m de validación cruzada. Cuando un modelo perturbado difiere considerablemente del modelo global basado en todos los objetos, significa que los objetos que se han mantenido fuera en ese segmento han afectado significativamente al modelo global. Estos objetos que se han dejado fuera han causado un patrón de variación en los parámetros del modelo. Gráficamente puede representarse cómo los parámetros son modificados cuando diferentes objetos son dejados fuera en diferentes segmentos de validación cruzada mostrándose la robustez total del modelo global frente a peculiaridades individuales de los datos individuales.

Estas perturbaciones pueden ser examinadas gráficamente para obtener una impresión general de la estabilidad de los parámetros estimados e identificar fuentes de inestabilidad del modelo. Además, permite realizar estimaciones de la varianza-covarianza de los parámetros del modelo. Este procedimiento es a menudo llamado Jackknife, que se

usará con dos objetivos: eliminar variables no útiles (en base a los coeficientes de regresión β) y estimar la estabilidad de los parámetros que forman la estructura bilineal T y $[P', Q']$.

Rotación de los modelos perturbados:

La estructura del modelo bilineal tiene una ambigüedad rotacional en las variables latentes que necesita ser corregida mediante el Jackknife, puesto que en estos modelos es muy importante la evaluación de los scores y loadings, y es mediante esta operación que tiene sentido la evaluación de las perturbaciones de los scores T_m y loadings P_m y Q_m en los modelos de validación cruzada. Para un segmento de esa validación cruzada m , cualquier matriz invertible C_m ($Ax A$) satisface la relación:

$$T_m [P'_m, Q'_m] = T_m C_m C_m^{-1} [P'_m, Q'_m]$$

Por tanto los modelos individuales para $m = 1, \dots, M$ pueden ser rotados:

$$\begin{aligned} T_m &= T_m \hat{C}_m \\ [P', Q']_m &= \hat{C}_m^{-1} [P'_m, Q'_m] \end{aligned}$$

Después de la rotación, los parámetros rotados T_m y $[P', Q']_m$ pueden ser comparados con sus correspondientes del modelo global T y $[P', Q']$. Las perturbaciones pueden expresarse como: $(T_m - T)g$ y $([P', Q']_m - [P', Q'])g$ para los scores y loadings respectivamente, donde g es un factor de escala.

Eliminación de las variables no útiles:

Basándose en la estimación de la incertidumbre de los parámetros del modelo por Jackknife podemos eliminar variables no útiles o poco fiables, tanto para X como para Y . Siendo el objetivo simplificar el modelo final y hacerlo más fiable. Para este fin, es necesario tener una aproximación de la varianza de los coeficientes de regresión. En modelos del tipo PCR y PLS puede ser estimada mediante Jackknife según la siguiente expresión:

$$S_B^2 = \left(\sum_{m=1}^M ((\beta - \beta_m)^2)g \right) \left(\frac{N-1}{N} \right)$$

donde

S_B^2 = varianza estimada de la incertidumbre.

β = coeficientes de regresión usando todos los objetos (con validación cruzada).

β_m = coeficientes de regresión usando todos los objetos excepto los objetos dejados fuera del segmento m de la validación cruzada.

g = factor de escala.

N = número de muestras.

Test de significación para coeficientes β y otros parámetros PLS:

Una vez han sido estimadas las varianzas para β , P , Q y W , estas pueden utilizarse para determinar la significación de los parámetros, mediante un simple test t . Este puede realizarse con un nivel de significación determinado para cada parámetro. De forma equivalente, puede construirse un intervalo de confianza al $(1 - \alpha)\%$ de la forma $b \pm t_{\alpha/2,df} S_b$.

Visto ya los distintos tipos de modelización que se recomienda utilizar, en el siguiente apartado se explicara la técnica utilizada para buscar las condiciones óptimas de la mezcla según las prestaciones que se quieran alcanzar del producto.

5.3.3.6. Búsqueda de las condiciones óptimas.

Una vez elaborados los modelos se ha de estudiar las condiciones óptimas para cada caso, dependiendo del objetivo que se desea alcanzar sobre la respuesta: maximizar, minimizar o alcanzar un valor. Una de las maneras de estudiar las condiciones óptimas, en problemas de superficie de respuesta, es gráficamente aunque cuando el número de respuestas es elevado estos

métodos pierden potencia y es más efectivo la utilización de otras técnicas como la función de Deseabilidad, que será presentado a continuación.

La función de Deseabilidad: El método más usual utilizado para la búsqueda de las condiciones óptimas en los problemas de superficie de respuesta es mediante la superposición de los gráficos de contorno, siempre que no se tengan un número considerable de variables respuesta como es el caso. Derringer y Suich (1980) propusieron para este tipo de problemas, cuando hay que tratar varias variables respuesta, utilizar la llamada función de Deseabilidad. El procedimiento propuesto utiliza las funciones de deseabilidad, en la cuales el investigador incluye sus prioridades y deseos sobre las variables respuesta siendo constituidas mediante un proceso de optimización. La forma de la función de deseabilidad puede tener una o dos caras dependiendo del tratamiento que se le de a la variable respuesta: minimizarla, maximizarla o buscando un punto objetivo. En cada uno de los casos se tiene:

- Si se busca un punto objetivo:

En este caso consideramos como posibles respuesta tenemos A, B y C de forma que $A \leq B \leq C$. Un producto es considerado inaceptable si la variable respuesta $y < A$ o $y > C$. El valor B es el "valor más deseable" (*target*). La cantidad d , de deseabilidad, se define como:

$$d = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}-A}{B-A}\right)^s, & A \leq \hat{y} \leq B \\ \left(\frac{\hat{y}-C}{B-C}\right)^t. & B \leq \hat{y} \leq C \end{cases}$$

donde d es 0 si $\hat{y} > C$ o $\hat{y} < A$. Se puede utilizar la figura 5.5 para localizar como según la potencia de s y t , la variable respuesta puede desempeñar un papel distinto sobre la deseabilidad total de producto.

- Si se quiere maximizar:

En este caso se elegiría un valor de B de modo que d sea igual a 1 para todo $\hat{y} > B$. En otras palabras, el investigador debería estar satisfecho si $\hat{y} \geq B$. Luego se asume que el producto es inaceptable si $\hat{y} < A$. Entonces $B = C$. Luego se tiene que la función de deseabilidad es:

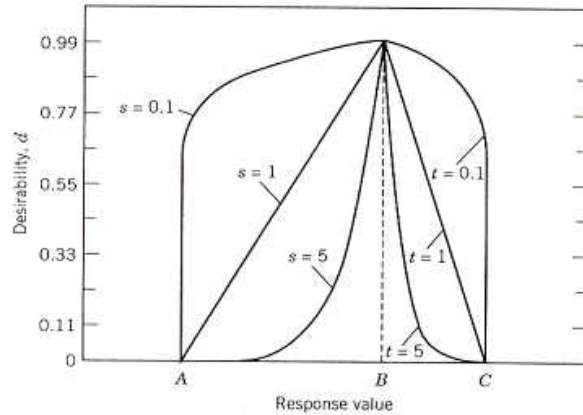


Figura 5.5: Función de deseabilidad con punto objetivo

$$d = \left\{ \frac{\hat{y} - A}{B - A} \right\}^s, \quad A \leq \hat{y} \leq B$$

En este caso la función que se obtiene se puede ver en la figura 5.6.

- Si se quiere minimizar:

En este caso los valores de B que son más deseables son cuando $\hat{y} \leq B$ y producen una d igual 1. Los valores que $\hat{y} > C$ son considerados inaceptables y proporcionan una $d = 0$. En este caso $A = B$. La función de deseabilidad es:

$$d = \left\{ \frac{\hat{y} - C}{B - C} \right\}^s, \quad B \leq \hat{y} \leq C$$

En la mayoría de las aplicaciones los valores de A , B y C son elegidos de acuerdo a las prioridades del investigador. La elección de s y t es más difícil, aunque con el uso de gráficos esta se simplifica. El uso de valores de s y t menores de 1, hace que se llegue al valor deseado de forma más rápida, o sea, no se es exigente puesto que valores de \hat{y} alejados de B proporcionan una buena deseabilidad. Por el contrario, para valores de s y t mayores que 1, se

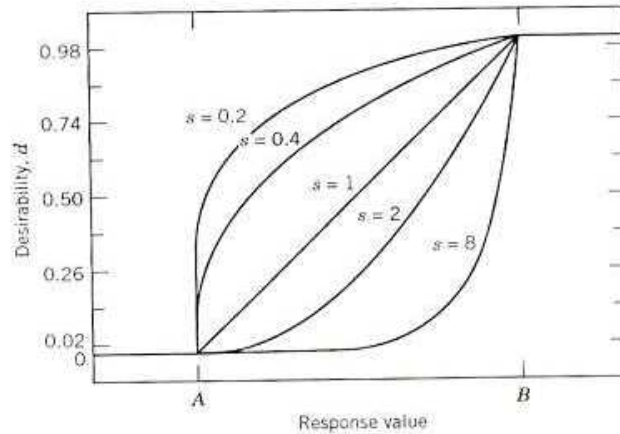


Figura 5.6: Función de deseabilidad para un punto máximo

llega al valor deseado de forma más exigente, o sea, \hat{y} debe estar más cerca B para obtener una deseabilidad cercana a uno. Para una mejor comprensión ver las figuras 5.6 y 5.5.

Este procedimiento crea una función de deseabilidad para cada una de las m variables respuesta que se estudian. Entonces la Función de Deseabilidad Conjunta se puede calcular realizando la media geométrica de las funciones de deseabilidad individuales para cada una de las variables respuesta. Es decir, la respuesta queda definida como:

$$D = \{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdots d_m\}^{1/m}$$

Tomando en cuenta las m respuestas, deseáramos elegir las condiciones de las variables del diseño x que maximicen D . Un valor de D cercano a 1 implica que todas las respuestas están simultáneamente en un rango de deseabilidad. Esta es una de las posibilidades para la formulación de D puesto que esta no es única. Existen varias vías para implementar la metodología de Derringer-Suich. A continuación se presentan dos posibilidades:

- a. Para cada una de las m respuestas se ajusta la superficie de respuesta. Se crea d_1, d_2, \dots, d_m . Crear entonces $D = (\prod_{i=1}^m d_i)^{1/m}$ en ca-

da uno punto del diseño acorde con los valores de la respuesta predicha (fitted), los \hat{y} . Luego se construye la superficie de respuesta con $D = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ y se buscan la condiciones en las que x maximiza D . Se puede utilizar el análisis canónico, el análisis 'ridge' y otros.

- b. Calcular d_1, d_2, \dots, d_m y D en cada uno de los puntos acorde con las observaciones individuales, los valores y_1, y_2, \dots, y_m . Entonces se construye la superficie de respuesta con la D calculada y utilizando la metodología apropiada para encontrar las x que maximicen \hat{D} .

Estos métodos pueden tener posibles variaciones. Aun así, se ha de ser prudente en los procedimientos de respuesta múltiple. Es necesario confirmar que las condiciones óptimas escogidas satisfacen que todas las respuestas estén en la región de satisfacción.

Una vez se han obtenido las condiciones óptimas, será necesario llevarlas a la práctica. Para ello se deben plasmar las condiciones en las decisiones oportunas que lleven a la mejora del producto y del proceso.

5.3.3.7. Mejora del producto y del proceso.

Una vez analizados los datos, se debe sacar las conclusiones prácticas acerca de los resultados y recomendar un curso de acción. Encontradas las condiciones óptimas se han de llevar a cabo las tareas y los cambios necesarios para alcanzar el producto deseado. En el caso de elaboración de un nuevo producto se ha de ajustar el proceso para llegar a elaborar el producto con las características propuestas inicialmente. Cuando se trata de mejorar un producto que ya se está elaborando se deben de hacer los ajustes necesarios en el proceso para alcanzar los objetivos propuestos. Se recomienda que se realicen pruebas de confirmación para validar las conclusiones del experimento.

A continuación y a modo de ejemplo, se va a desarrollar esta metodología para el caso de la napa termofusionada. En el capítulo siguiente se explicarán detalladamente los siguientes pasos:

- a. El objetivo que se plantea es la mejora de la Napa termofusionada, para cada uno de los usos que va dirigida. Se quiere buscar las condiciones óptimas respecto a un conjunto de variables como la densidad, el aislamiento, el tacto, el espesor, el coste, etc...
 - b. El producto final se elabora mediante la mezcla de tres tipos distintos de fibras: la fibra termofusible, la fibra dura hueca y la fibra dura. Existe una restricción en cuanto al porcentaje de fibra termo que se puede utilizar, no puede ser mayor del 30 % ni menor del 26 %. Las características de calidad sobre las que se quiere ver la influencia de los cambios de la mezcla son: la densidad, el aislamiento, el tacto, el espesor y el coste. Los objetivos para cada una de la variable respuesta dependerá del sector hacia el que vaya dirigido el producto. Un aspecto que se ha tenido en cuenta es la posible influencia de la velocidad de producción, siendo esta la única variable del proceso considerada.
 - c. El diseño que se ha utilizado esta basado en la D-optimalidad. Se ha decidido utilizar este tipo de diseño por que tenemos un problema con restricciones, un variable del proceso y solo se pueden realizar un número limitado de pruebas. Inicialmente y por precaución, para poder ajustar mejor, se piensa en utilizar un modelo cuadrático.
 - d. Se realizan las pruebas teniendo en cuenta las condiciones climáticas y el efecto de estas sobre el proceso. Las pruebas se realizan en dos días. Una vez finalizadas las pruebas se miden cada una de las variables respuesta.
 - e. Para la elaboración de los modelos se utiliza el modelo PLS1 para cada una de las variables de forma individual y el PLS2 para modelizar a todas las variables conjuntamente. Se eliminan las variables que no son significativas en cada modelo hasta obtener el modelo que mejor prediga.
 - f. Se establecen las preferencias para cada variable respuesta según el uso
-

5.3. Diseño de Experimentos para Textiles

que se vaya a hacer de la napa, y se buscan las condiciones óptimas según la función de deseabilidad construida en cada caso.

- g. Deben realizarse los cambios necesarios en el producto y en el proceso según a las conclusiones llegadas en el punto anterior.

*CAPÍTULO 5. DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA TEXTILES NO
TEJIDOS*

Capítulo 6

La Napa termofusionada

6.1. Introducción

En este capítulo se van a mostrar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior, en el que se propone el uso de experimentos de mezclas para telas no tejidas. Se desarrollará la experiencia para la mejora de productos textiles que se compongan por medio de una mezcla, el caso que se va a estudiar es el de la napa realizada por termofusión.

6.2. Diseño de Experimentos para textiles

Como ya se ha comentado en el capítulo anterior la utilización de experimentos diseñados en productos textiles aporta grandes ventajas en cuanto a la mejora y al ahorro. En este capítulo se ha implementado un caso concreto de diseño de experimentos a un producto textil, este ha sido la aplicación de un Experimento de Mezclas a la Napa obtenida mediante termofusión. En primer lugar se expondrán los objetivos que se pretenden alcanzar con esta aplicación. Después se introducirá el problema que se pretende resolver, para a continuación aplicar la metodología propuesta.

6.2.1. Objetivos del Diseño de Experimentos

Los objetivos, comentados ya en el capítulo anterior, que se persiguen son:

- Mejorar el rendimiento del producto y del proceso.

Conseguir que el producto tenga un buen funcionamiento, un comportamiento robusto, poco variable, en sus condiciones de campo. Se debe conseguir que los requerimientos que se le hacen al producto sean conformes a los valores deseados.

- Facilitar su uso.

Proporcionar una herramienta que pueda ser utilizada de forma continuada por personas no especialistas en estadística es otro de los propósitos que se pretenden abordar.

- Abordar un problema real.

Estudiar un problema real con un determinado producto para demostrar la eficacia de estas técnicas.

- Reducir el tiempo y los costos.

Lograr una reducción de los costos de producción y del tiempo en desarrollar el producto.

6.2. Diseño de Experimentos para textiles

- Mejorar los métodos de ensayo.

Asegurar una metodología que garantice la validez de las pruebas, los datos. De forma que lleven a conclusiones objetivas.

Mediante la implantación de la metodología propuesta sobre la Napa termofusionada, los objetivos específicos que se persiguen son:

- Encontrar las condiciones óptimas de la mezcla para las diversas variables que se consideran en la napa.
- Saber cual es la mezcla adecuada dependiendo del sector o el uso que se le de a la napa.
- Reducir el coste de producción.
- Encontrar las condiciones más adecuadas para la fabricación.
- Optimizar la gestión de compra para encontrar nuevas fibras con buenas prestaciones y precios competitivos.

A continuación se expondrá el por qué se decidió trabajar en este campo, así como el planteamiento y la descripción del problema inicial.

6.2.2. Justificación y planteamiento del problema

Algunas de las causas que han servido de aliciente para que se realice esta experiencia son:

- Que un gran número de empresas en estos momentos no utilizan este tipo de herramientas estadísticas para la realización de pruebas.
- Que el uso de estas técnicas dan un gran aporte a los productos, por las mejoras y la robustez de que los dota.
- Que existe una clara falta de sistematización de las pruebas que se realizan habitualmente, con la consiguiente carencia de carácter científico y pérdida de validez.

- Que se necesitan herramientas para facilitar y objetivizar el proceso de investigación y desarrollo que debe de realizar la empresa.
- Que la Comisión Europea recomienda en el informe sobre del futuro del sector textil, *la mejora de los métodos de ensayo (Comisión Europea, 2003)*, en cuanto a los esfuerzos en materia de investigación y desarrollo.

A continuación, antes de exponer la metodología utilizada, se introducirá el producto y el proceso que son objetos de estudio de forma breve.

Introducción a la Napa

Según la norma UNE 40388, se entiende por Napa a: *Conjunto de gran longitud, de sección ancha y espesor aproximadamente uniforme, pero pequeño con respecto a su ancho, compuesto por fibras discontinuas mantenidas por su adherencia recíproca o mediante medios apropiados.*

Existen varios tipos de Napas, dependiendo del tipo de proceso de fabricación que se utilice para elaborarla. La Napa puede formar sus velos por diversas vías: vía seca, vía húmeda o por fusión. En la tabla 6.1 se ofrecen las características generales de los distintos sistemas de fabricación de la napa: el tipo de fibras que se puede utilizar en cada caso, la forma en la que se elabora el velo, la disposición de las fibras y los distintas dimensiones y gramajes en la que los productos se pueden fabricar en cada caso.

Como se puede observar en la tabla según el tipo de procedimiento utilizado se utiliza uno o varios tipos distintos de fibras. Las fibras según su origen se clasifican en: fibras naturales y fibras químicas o manufacturadas. Dentro de las fibras naturales se pueden distinguir según su origen de procedencia: mineral (amianto, vidrio o acero), vegetal (algodón, lino, cáñamo, yute, esparto) o animal (lana, mohair). Las fibras químicas o manufacturadas se obtienen a partir de materias naturales o de síntesis, dando una clasificación en fibras Artificiales, procedentes de transformaciones de materias naturales (Rayón Viscosa o Fibrana, Rayón acetato) y fibras Sintéticas, pro-

6.2. Diseño de Experimentos para textiles

Tecnología	Vía seca	Vía húmeda	Vía fusión
Materia primas	Fibras cortas (naturales y químicas)	Fibras muy cortas (celulósicas o sintéticas)	Filamentos Sintéticos
Formación del velo	Cardado o neumático	Suspensión acuosa de fibras	Deposición sobre una tela
Disposición de las fibras	Al azar u orientadas	Al azar	Al azar
Productos	10 a 10.000 g/m^2 1 a 10 m. ancho	10 a 200 g/m^2 1 a 2'5 m. ancho	10 a 600 g/m^2 1 a 6 m. ancho

Tabla 6.1: Características generales de los sistemas de fabricación de Napas

cedentes de síntesis químicas (Poliamida, Poliacrílica, Poliéster, Clorofibras, Polipropileno).

Las fibras comentadas se denominan fibras convencionales, en la actualidad existe una nueva generación de fibras denominadas fibras de elevadas prestaciones mecánicas y/o térmicas (poliamida HT, poliéster HT, acrílica, aramidas, polibenzimidazol, carbono, carburo de silicio, etc...) Este nuevo tipo de fibras desarrolladas en los últimos 30 años poseen diversas características como elevada resistencia mecánica, prestaciones térmicas y mecánicas, conductividad, etc...

En principio todas las fibras textiles pueden ser empleadas en la fabricación de telas no tejidas, siendo las limitaciones que imponen los distintos sistemas de fabricación, así como las consideraciones de tipo económico, de uso final, etc... las que determinan el empleo de una o otra fibra. Es por esto que las fibras con propiedades como: la fusión sin resinas, no absorban la humedad, capacidad de compactación, tacto agradable, no toxicas, inocuas, antialérgicas... tienen especial interés para esta tesis, puesto que permitirán la elaboración de napas con características técnicas que permiten un número elevado de aplicaciones, que sin el uso de estas fibras de última generación

sería imposible.

Una de las dificultades con las que se enfrentan las empresas en cuanto a investigación es que esta no se puede llevar a cabo en las propias instalaciones que poseen. En nuestro caso se aportan las herramientas necesarias para que esta se realiza in situ en el propio lugar de producción. Es por esto que el estudio es necesario centrarlo en un único sistema de producción. Se ha decidido que este corresponda al sistema por vía seca, puesto que es el que más prestaciones tienen sus productos en cuanto al gramaje y el ancho de los artículos que se producen, como también en cuanto al uso de diversos tipos de fibras. Es de suponer que el producto elaborado por esta vía tendrá más prestaciones y usos. Es por esto que nos centraremos en este sistema de producción.

El proceso de obtención de napas por esta vía consta de: una instalación de formación del velo dotada de los dispositivos de preparación (apertura, mezcla y alimentación), un sistema de superposición de velos y un equipo para la consolidación mecánica, química o térmica. Este sistema de producción lleva a distintos tipos de procesos que dependen de diversas características (fibras utilizadas, tipo de alimentación, modo de disposición de velos, tipo de carda, clase de ensimaje, fabricante, tipos de plegadores, modo de consolidación, etc.,...) y no es intención abordar la diversidad de maquinaria que se puede encontrar en el mercado. Por esto se va a describir un proceso de producción concreto, a modo de ejemplo, que servirá para centrar el problema que se quiere abordar.

El proceso descrito consta de:

Preparación de materiales (ver fotografía 6.1(a)): La materia prima, que llega del proveedor, ha de ser preparada y transportada hasta el punto de producción en las cantidades necesarias para la elaboración correcta del producto.

Introducción de parámetros de fabricación (ver fotografía 6.1(b)): Según el producto que se vaya a elaborar se introducen los parámetros necesarios para su fabricación, desde el porcentaje de fibra de cada tipo hasta la

6.2. Diseño de Experimentos para textiles

velocidad de la cinta transportadora.

Mezcladora (ver fotografía 6.1(c)): Se realiza la labor de cargar y abrir las balas de fibras, con un dispositivo de pesado y descarga de fibras. Con este sistema las fibras van directamente a la línea de fabricación sin necesidad de que las fibras sean ensimadas.

Homogeneizadora (ver fotografía 6.1(c)): Una vez abiertas las balas de los distintos tipos de fibras estas pasan a la homogeneizadora donde las fibras son mezcladas en las proporciones que se desean de cada tipo.

Carda (ver fotografía 6.1(d)): Es un elemento determinante en el conjunto de una instalación por vía seca. Su función es la de ordenar y orientar de forma precisa las fibras que le son alimentadas de la homogeneizadora, para ser paralelizadas o desorientadas según el uso final del artículo.

Blamir o napadora (ver fotografías 6.1(e) y 6.1(f)): Esta máquina es un punto clave en la producción de napas. Esta recibe uno o varios velos de carda para transformarlos, por superposición, en una napa con una masa laminar y anchura definidos previamente.

Horno (ver fotografías 6.1(g) y 6.1(h)): Es donde se produce el ligado térmico, que es la creación de puntos de soldadura entre las fibras por acción de calor del horno, siendo el adhesivo fibras de poliéster con esta característica.

Marcado y Corte (ver fotografía 6.1(i)): Una vez se han fusionado los velos y se ha conseguido la napa, se enfría el producto, se marca y se corta. Las partes sobrantes que se cortan para conseguir el ancho demandado, siendo recicladas y trituradas para su posterior uso.

Etiquetado, envasado y embalaje (ver fotografías 6.1(j) y 6.1(k)): Una vez se corta, se enrolla la napa, se envasa en una bolsa de plástico y se etiqueta según las especificaciones obtenidas. Para su mejor transporte se envasa al vacío.



(a) Almacén



(b) Panel de Control



(c) Mezcladora y homogeneizadora

6.2. Diseño de Experimentos para textiles



(d) Carda



(e) Blamir



(f) Velos



(g) Horno



(h) Napa fusionada

Como se ha comentado con anterioridad son numerosas las aplicaciones de este material, que pueden variar en función de las fibras utilizadas. Entre las aplicaciones se pueden destacar:

- Aislante acústico: Se puede utilizar para aislar paredes, techos y fachadas.
- Absorbente acústico: Se puede utilizar para salas de máquinas, acondicionamiento de salas e insonorización de locales.
- Aislante térmico: Para recubrimiento de fachadas, medianeras o edificios colindantes.
- Filtración: Utilizado como filtro de sustancias.
- Relleno: Se puede utilizar para el relleno de almohadas, edredones nórdicos, colchones, interior de muebles, relleno de peluches, ajuar bebé,...

Planteamiento del problema

Una vez introducido el producto y el proceso que se quiere estudiar, se va a plantear cual es la situación inicial del problema que se pretende

6.2. Diseño de Experimentos para textiles



(i) Marcado



(j) Enrollado



(k) Producto final

abordar, siendo el objetivo que se persigue la mejora del producto final, la Napa termofusionada. Como ya se ha comentado con anterioridad la napa se forma por la mezcla y la fusión de fibras. En el caso estudiado se parte de tres tipos diferentes de fibras, todas ellas de poliéster: la fibra hueca, la fibra dura y la fibra termo. La mezcla de estas tres y su posterior tratamiento nos proporcionará el producto final. Existe una única restricción inicial respecto a las fibras. Esta es que la fibra termo no se puede utilizar más de un 30%, porque por mucha más fibra termo que se ponga el producto no se fusionará más, pero tampoco menos de un 26% puesto que la napa quedaría suelta y mal compactada.

Otro de los aspectos que se quieren tener en cuenta, es la posible influencia de variables del proceso. Estas variables no forman parte de la mezcla que forma el producto pero pueden llegar a influir en su formación. Son varias las variables que intervienen en el proceso, pero los técnicos de la empresa donde se ha desarrollado el experimento, piensan que la variable velocidad del proceso puede llegar a influir en el producto final.

Las características de la napa van a depender, entre otras cosas, del uso posterior que esta tenga. Así si el producto va destinado a material para la construcción para el aislamiento o la insonorización, necesitaremos diversas cualidades distintas que si el producto va destinado al relleno de muebles. Es interesante que la metodología que se emplee tenga en cuenta esta situación, con el fin de obtener las condiciones óptimas que se necesiten para cada caso.

En resumen, se parte de un producto que se forma por la mezcla de tres tipos de fibras distintas, con restricciones en cuanto a la proporción de uso, y que puede depender de la velocidad en la que se elabora, siendo las condiciones óptimas del producto dependientes del uso final de este.

6.3. Implementación del DE a la Napa

Esta sección desarrollará la metodología propuesta en el capítulo 5 . Esta experiencia ha servido para corroborar el buen funcionamiento de las herramientas estadísticas planteadas sobre un caso real. Destacar que el trabajo se ha desarrollado en fabrica, y no en un laboratorio, con las dificultades que acarrea este tipo de experimentación sobre todo en cuanto a paros en la producción y las consiguientes pérdidas. Se ha contado con la participación de un especialista en textiles técnicos, que fue quien coordinó y dirigió todas las tareas de campo. Se ha de reseñar la participación de numerosas personas, desde los operarios de la fabrica donde se ensayaron las napa hasta los técnicos de los laboratorios donde se realizaron las mediciones. En el desarrollo de los puntos se ha obviado hablar de temas realizados con las marcas, tanto de los productos utilizados como los fabricados, para poder así preservar el anonimato y la privacidad del los fabricantes.

En los puntos siguientes se va desarrollar la metodología para la mejora de la napa termofusionada. La metodología está dividida en tres periodos:

1. Periodo de definición:

En primer lugar se deben *definir los objetivos*. Una vez establecidos, se *definen las variables*. Cuando ya se saben las variables que se quieren utilizar se *diseña el experimento*.

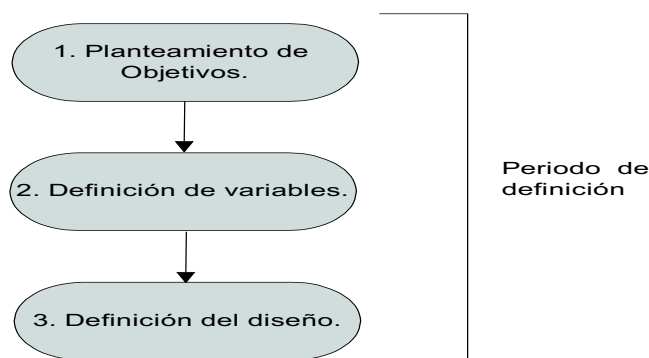
2. Periodo de experimentación y modelización:

Con las pautas establecidas en el diseño del experimento, se deben *realizar las pruebas* para luego con los datos obtenidos *construir los modelos*.

3. Periodo de optimización y mejora: Cuando ya se han conseguido los modelos adecuados, se *buscan las condiciones óptimas* para las variables y se establecen *las mejoras del producto y el proceso*.

El inicio de cada periodo se indica mediante la parte del esquema propuesto en el capitulo anterior.

6.3.1. Planteamiento de Objetivos



Para plantear los objetivos se tuvieron que realizar varias reuniones. En la primeras reuniones se definió el problema por parte del técnico de la empresa: *Se pretendía obtener una mejora en el producto que se estaba elaborando, la napa.* Para abordar el problema fue necesario un periodo para conocer el producto y el proceso sobre el que se iba a actuar. En primer lugar, y debido a que se fabricaban diversos tipos de napas, se decidió actuar sobre la clase que más usos y mayor producción se estaba realizando, este fue la napa por vía seca mediante termofusión de poliéster de 4 cms. de espesor y $500 \text{ grs}/\text{m}^2$ de densidad, obtenida mediante la mezcla de tres tipos de fibras distintas: Una fibra de poliéster dura y hueca, otra fibra de poliéster dura pero maciza y una fibra de poliéster blanda y termoadhesiva.

Una vez se analizó detenidamente el problema se pensó cual serían las herramientas que mejor funcionarían para resolver el problema planteado. Puesto que se pretendía mejorar un producto, se decidió el uso del Diseño de Experimentos, y el hecho de que este se elabore mediante una mezcla, nos condujo al uso de los experimentos de mezclas. Una vez decidida la herramienta principal, se fue profundizando en las características del problema que se quería abordar, para así poder plantear los objetivos marcados.

El primer planteamiento realizado por la empresa era mejorar el producto que se quería estudiar. Estas mejoras se querían observar mediante los siguientes objetivos:

6.3. Implementación del DE a la Napa

- Encontrar las condiciones óptimas de la mezcla para las diversas variables que se consideran en la napa.
- Saber cual es la mezcla adecuada dependiendo del sector o el uso que se le de a la napa.
- Reducir el coste de producción.
- Encontrar las condiciones más adecuadas para la fabricación.
- Optimizar la gestión de compra para encontrar nuevas fibras con buenas prestaciones y precios competitivos.

Una vez planteados los objetivos por parte de la empresa, se empezó a trabajar de forma conjunta con el equipo de trabajo designado para estudiar las variables que podrían intervenir en el experimento.

6.3.2. Definición de variables

Por una parte, y en primer lugar fue necesario definir las componentes de la mezcla. Como se ha comentado anteriormente, para producir la napa, se disponía de tres tipos de fibras de poliéster distintas: una fibra hueca, una fibra maciza y otra fibra termoadhesiva. Estas tres componentes son parte de las variables explicativas (X).

Una vez se tuvo claro que estos tres tipos de fibras son los que forman la mezcla, se estudió si existía algún tipo de restricción sobre alguna de las componentes. Respecto a las dos primeras fibras, en principio no existía ningún tipo de restricción, en cambio respecto a la fibra termo sí que existía una restricción en cuanto a la proporción que era aconsejable utilizar: el fabricante de la fibra recomendaba no utilizar más de un 30 % de producto, puesto que una mayor proporción no garantiza una mayor cohesión de la napa; Por otro lado tampoco se podía utilizar una cantidad inferior al 26 % puesto que no se garantizaba la adherencia de las fibras. Por lo tanto la cantidad a utilizar de fibra termo estaba entre el 26 y el 30 % de la mezcla

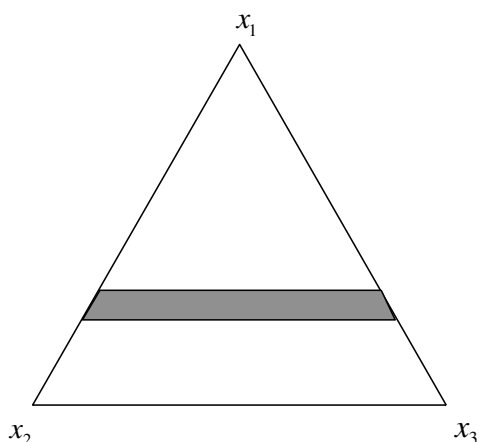


Figura 6.1: Región factible

total. En la figura 6.1 se observa, en gris, la región factible sobre la que se debía trabajar.

Cuando ya fueron definidas las componentes de la mezcla se estudió si alguna de las variables que intervenían en el proceso era posible que, su variación, tuviera influencia sobre la mezcla. Eran varias las variables que intervenían en el proceso (velocidad, temperatura, número de capas, . . .), pero los técnicos comentaron que la única variable que podría provocar cambios en el producto final era la velocidad de fabricación tomando tres tiempos distintos: 5 minutos, 6 minutos y 7 minutos. Las demás variables, para el tipo de producto que se estaba fabricando, ya tenían unas condiciones específicas que no se podían variar puesto que representaría el reajuste de todo el proceso, por lo tanto estos factores se mantendrían constantes.

Definidos los factores iniciales, el grupo de trabajo se propuso recabar información sobre las variables respuesta sobre las que se quería observar la influencia de los cambios de la mezcla. A partir de aquí se definieron las características de calidad sobre las que se quería actuar, en base a dos grupos distintos de variables: variables instrumentales y las variables sensoriales. Adicionalmente se tuvieron en cuenta también variables económicas. Según

6.3. Implementación del DE a la Napa

esta distinción se escogieron:

VARIABLES INSTRUMENTALES:

- La densidad: Es una magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen. Esta característica se destacó puesto que es de fácil medición y además se considera importante por el sector de la automoción.
- El espesor: Es el grosor del producto. Esta era una de las características solicitadas por los clientes, en cuanto a que exigían determinadas especificaciones.
- El aislamiento: Esta variable se consideró por que la napa se puede usar como material aislante en la construcción, por su capacidad aislante acústica y térmica.
- La resistencia a la penetración (variables basadas en la norma UNE 53170:2002): Es la pérdida de resistencia mecánica de la napa, al ser sometida a una deformación. Esta es una prueba UNE a la que son sometidos materiales poliméricos celulares flexibles que suelen tener usos similares, pero no es específica para el producto estudiado. La norma indica que la muestra objeto, se debe comprimir en una Máquina Universal de Ensayos a una velocidad de 80mm/min, mediante dos superficies, una inferior y otra superior. La inferior es una placa plana de 505mm de lado, perforada con agujeros de 5mm de diámetro separados entre si 20mm, y la superior es un plato de compresión de 150mm de diámetro. Se registran tres variables la pérdida de espesor inicial y la pérdida de dureza con muestras al 25 % de su espesor y al 40 %.
- La fatiga dinámica (variables basadas en la norma UNE 11012:1989): Como la característica anterior esta no es una variable que se mida normalmente pero también es una prueba UNE a la que son sometidos los productos que se van a utilizar como relleno de sofás, que es uno de los usos del producto que nos interesa. La norma

indica que una vez determinados el espesor inicial y la resistencia a la penetración de la muestra, se realice un ensayo de resistencia a la fatiga similar al que se lleva a cabo sobre asientos de sofás y sillones, que consiste en la aplicación de una carga de 950 N durante 50.000 ciclos. Una vez finalizado se determinan tres variables, nuevamente el espesor y la resistencia a la penetración tras comprimir la muestra al 25 % y al 40 %, medida mediante la pérdida de dureza, a fin de comprobar los porcentajes de pérdida producidos.

Variables sensoriales:

- El cuerpo: Una de las características más importantes puesto que era de las pocas que se podía comprobar una vez el producto estaba finalizado. Esta puede ser medida tanto por el cliente como por el fabricante, solo con la participación de personas especializadas, sin necesidad de acudir a un laboratorio. Se mide comprobando el estado del producto por medio de la exploración con la yema de los dedos, presionado la muestra.
- El aspecto: El fabricante se imponía que la napa tuviera un buen aspecto, entendido como un conjunto de atributos que apreciados por la vista, puesto que en mercados como el del mueble o el hogar se consideraba importante.

Variables económicas:

- El coste: Esta era una de la variable primordiales sobre las que se quería actuar, puesto que el producto fabricado debe competir con productos de similares características en determinados sectores y en algunos casos sus costes son menores.

Se barajaron algunas variables más (absorbencia acústica, manejabilidad, inflamabilidad, conductividad térmica, reciclabilidad) pero el técnico consideró que, bien porque estaban relacionadas muy estrechamente con las ya

6.3. Implementación del DE a la Napa

propuestas o porque el tipo de material las garantizaba, no se incluyeran en el experimento. En resumen, se partía de:

Variables explicativas(X):

X_1 = Fibra de poliéster dura y hueca (entre un 0 % y un 70 %).

X_2 = Fibra de poliéster dura y maciza (entre un 0 % y un 70 %).

X_3 = Fibra de poliéster blanda y termofusible (entre un 26 % y un 30 %).

X_4 = Velocidad del proceso (3 niveles: -1 baja (5'), 0 media (6'), 1 alta (5')).

Variables Respuesta (Y):

Y_1 = Densidad (*gramos/metro*²).

Y_2 = Espesor (milímetros).

Y_3 = Aislamiento (Decibelios).

Y_4 = Pérdida de espesor (%) (*UNE 53170:2002*).

Y_5 = Pérdida de dureza al 25 % (%) (*UNE 53170:2002*).

Y_6 = Pérdida de dureza al 40 % (%) (*UNE 53170:2002*).

Y_7 = Pérdida de espesor (%) (*UNE 11012:1989*).

Y_8 = Pérdida de dureza al 25 % (%) (*UNE 11012:1989*).

Y_9 = Pérdida de dureza al 40 % (%) (*UNE 11012:1989*).

Y_{10} = Cuerpo (6 niveles: 1 Ausente, 2 Muy débil, 3 Débil, 4 Evidente, 5 Pronunciado, 6 Muy pronunciado).

Y_{11} = Aspecto (2 niveles: 1 correcto, 0 incorrecto).

Y_{12} = Coste (€).

6.3.3. Definición del diseño

Una vez definidas todas las variable que iban a intervenir en el experimento era necesario plantear el diseño para poder así realizar las pruebas. Un

requisito indispensable era que el número de pruebas no fuera elevado puesto que la realización de estas suponía la paralización de la producción, y no se podía dejar de producir durante mucho tiempo por la pérdida económica que suponía para la empresa.

Con las condiciones de partida se tenía que aplicar un experimento de mezclas con restricciones en las componentes y una variable de proceso. Para poder diseñar un número reducido de pruebas, y como ya se ha comentado en el capítulo anterior, se decidió que la herramienta que mejor se ajustaba, era utilizar un diseño basado en el criterio de D-optimalidad.

Una de las condiciones para poder realizar este tipo de diseño es plantearse un modelo a priori. En nuestro caso y debido al desconocimiento del comportamiento de las variables respuesta se decidió utilizar un modelo cuadrático con: las variables explicativas, sus cuadrados y las interacciones de estas, siendo un total de 14 parámetros. Para que las estimaciones fueran buenas era necesario realizar 15 pruebas como mínimo. Hay que partir que la empresa exigió que no se realizaran más de 20 pruebas por las razones mencionadas antes. El diseño encontrado fue uno con 17 puntos experimentales al que se le añadió 3 puntos centrales para aumentar el número de grados de libertad del diseño, obteniendo un CN (*Conditional Number*) de 34, valor que se considera bueno para el caso que se está realizando. Se utilizó el programa estadístico *The Unscrambler v7.6*. En la tabla 6.2 se muestran las pruebas que fueron diseñadas.

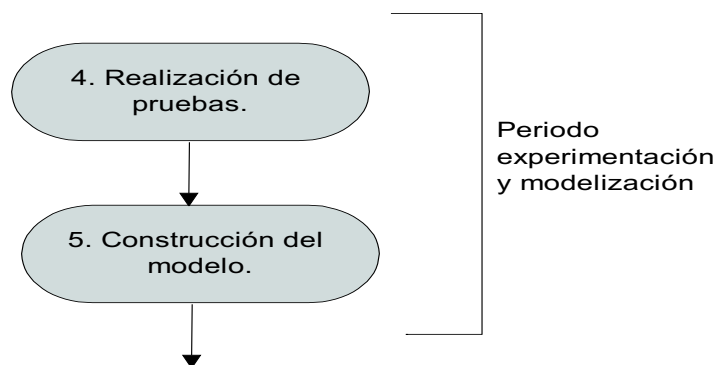
Una vez se tenían diseñadas las pruebas fue el momento de llevarlas a cabo, en la fábrica en la que se estaba realizando la investigación.

6.3. Implementación del DE a la Napa

Prueba	Fibra termo (%)	Fibra Maciza (%)	Fibra hueca (%)	Velocidad (nivel)
1	28	28	36	0
2	28	72	0	0
3	30	70	0	-1
4	30	35	35	0
5	26	37	37	1
6	30	70	0	1
7	26	0	74	1
8	30	0	70	1
9	30	0	70	0
10	26	37	37	-1
11	30	0	70	-1
12	28	36	36	0
13	26	74	0	-1
14	26	0	74	0
15	26	0	74	-1
16	26	0	74	1
17	28	36	36	-1
18	28	0	72	-1
19	28	36	36	0
20	26	74	0	1

Tabla 6.2: Diseño utilizado

6.3.4. Realización de pruebas



Como el número de pruebas a realizar era bastante elevado para llevarlas a cabo todas en un día, puesto que la máquina debe de reajustarse entre prueba y prueba y esto lleva un periodo de tiempo considerable, se decidió realizarlas en dos días consecutivos. Luego las pruebas fueron divididas en dos bloques uno por día, controlándose en cada uno de ellos las condiciones externas que se daban y que podían influir en el experimento. Las pruebas fueron supervisadas por el técnico y fueron realizadas por los operarios y encargados de las máquinas en las condiciones de aleatorización deseadas. Una vez realizadas las 20 pruebas, se tomaron las respectivas muestras de cada una de ellas para evaluar las variables repuestas definidas.

En primer lugar se midieron las variables sensoriales, el aspecto y el cuerpo: Para la medición las características sensoriales, en el caso de que no estén definidas previamente, se deben utilizar las técnicas que se mencionan en el capítulo 3, que serán desarrollados a continuación.

El segundo grupo de variables que se midieron fueron las que se pudieron tomar en el propio laboratorio de la empresa fabricante, el espesor y la densidad: estas variables fueron medidas por los técnicos de laboratorio de la empresa mediante los instrumentos apropiados, una cinta métrica y un peso calibrado.

La medición del coste consistió en recabar información sobre el coste de cada fibra, y tomando en cuenta el porcentaje de fibra utilizado para cada una se definió el precio de las muestras de napa.

6.3. Implementación del DE a la Napa



(a) Preparación



(b) Cámara

Para la medición del resto de variables respuesta, aislamiento, pérdida de espesor y fatiga, se tuvo que recurrir a un laboratorio especializado: tanto la pérdida de espesor como la fatiga fueron evaluadas en cada una de las napas según marcan las normas UNE 53170:2002 y UNE 11012:1989. La medición del aislamiento se realizó según marca la norma UNE-EN ISO 354 (ISO 354:2003). *Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante*, como se puede observar en las fotografías (ver 6.2(a) y 6.2(b)).

A continuación se describe el proceso seguido para realizar la evaluaciones sensoriales tal y como se propone en el capítulo 3.

Medición de las variables sensoriales

Para la medición de las variables sensoriales de la napa, y como se recomienda en el capítulo anterior se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Lugar y equipamiento.

Siguiendo las recomendaciones se habilitó un lugar cercano al proceso de producción que fue equipado para realizar las evaluaciones sensoriales. Este local tenía carácter ocasional, mientras la empresa decidía

un lugar definitivo para su ubicación. El local tenía las condiciones ambientales necesarias, una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 65 %. Mediante el acondicionamiento del local se eliminaron los riesgos de identificación del producto y de interacción con otros productos.

b. Preparación de muestras.

Para obtener una muestra de la napa, se decidió coger parte del producto. Se cortaron trozos de la pieza de 1 metro² para poder realizar las evaluaciones cómodamente. Se identificaron, mediante una codificación de tres dígitos, para ser almacenados para su posterior análisis. Durante el análisis, se presentaron, de forma aleatoria, las muestras en recipientes de forma que no podían ser identificadas por los jueces. Una vez finalizadas las evaluaciones se almacenaron las muestras durante dos meses. Para poder realizar una correcta clasificación de los productos según sus características táctiles, se tenían muestras referencia que mostraban tres niveles diferentes del descriptor, mínimo, intermedio y máximo.

c. Descripción sensorial.

Fueron dos los descriptores seleccionados para describir el producto. Uno de carácter visual, el aspecto, y otro de carácter táctil, el cuerpo. El aspecto se definió como el conjunto de atributos que se podían apreciar por la vista. El cuerpo se definió como la sensación táctil relacionada con el grado de densidad, consistencia y compacidad del producto. Únicamente fueron seleccionados estos descriptores porque resumían perfectamente las características de calidad que se pretendían controlar. Además se consideró que eran descriptores pertinentes, por adaptarse al producto, precisos, comprendidos por todos los miembros del jurado, y discriminantes, puesto que permitían discriminar entre productos.

Los gestos que se realizaron para evaluar el producto variaron según

6.3. Implementación del DE a la Napa

el descriptor. Para el aspecto, los evaluadores tenían que observar el producto durante cierto tiempo, mientras que para el cuerpo, tenían que coger el producto llenando la mano. Como se realizaba un análisis comparativo, se recomendó que se utilizaran ambas manos antes de tomar una decisión.

d. Evaluadores.

las personas que iban a realizar la evaluación de la napa, fueron un grupo de expertos seleccionados entre el personal de la fabrica (responsable del producto, comercial, responsable de calidad, encargado de producción y responsable de laboratorio). Esto se decidió así puesto que era necesario realizar varias evaluaciones y no se pudo disponer de jueces externos, por problemas operativos y de coste. Esto tiene ventajas, en cuanto que se tiene entera disponibilidad de los jueces, pero tiene el inconveniente que el conocimiento del producto podía sesgar las decisiones.

e. Métodos.

Como el objetivo era la clasificación en distintos grados de calidad, en cuanto al aspecto y el cuerpo, se decidió utilizar una prueba comparativa que permitía establecer la naturaleza de las diferencias entre los distintas mezclas realizadas.

f. Informe.

Una vez realizados todas las tareas es pertinente la realización de un informe. En este caso se consideró:

- Demandante: La propia empresa.
- Objetivo del ensayo: comparar y evaluar las características sensoriales de un conjunto de napa.
- Protocolo de ensayo: Se toman las muestras según define el experimento diseñado. Se realiza una primera evaluación individual por cada experto, para después realizar una puesta en común de los

resultados para consensuar una puntuación final para cada una de las muestras.

- Norma utilizada: Basado en la norma UNE 87020:1993 *Evaluación de los productos alimenticios por métodos que utilizan escalas*.
- Información de las muestras: Lote número 1. Codificado del 657 al 758 (no de forma consecutiva). Selección de muestras según el plan del diseño. Almacenadas en local acondicionado para el ensayo.
- Descriptores utilizados: La definiciones de los descriptor son: Aspecto, conjunto de atributos que se aprecian por la vista. Se debe realizar una inspección visual durante no más de 2 minutos. Cuerpo, sensación táctil relacionada con el grado de densidad, consistencia y compacidad del producto. Se evalúa por medio de la presión del producto con la mano.
- Referencias: Desde 657 al 758 (no consecutivas).
- Número de ensayos: 20.
- Identificación de sujetos: han participado 5 expertos pertenecientes a la empresa.
- Condiciones del ensayo: se realiza una primera evaluación individual por cada uno de los miembros puntuando las distintas muestras. Después se hace una puesta en común de las puntuaciones realizadas para consensuar una única puntuación de cada una de las muestras.
- Fecha y hora: 24 de octubre del 2004 a la 9:00h.
- Responsable: Pau Miró y Técnico de la empresa.

Una vez tomados todos los datos, los valores de las variables respuesta para cada una de las 20 pruebas (tabla 6.3), y antes de estudiar que modelo era el adecuado para cada una de las variables respuesta y/o para un conjunto de ellas, se decidió realizar un estudio descriptivo para saber la relación

6.3. Implementación del DE a la Napa

entre las variables respuesta mediante el método PCA (*Principal Components Analysis*).

Se realiza en primer lugar un PCA para estudiar las relaciones entre todas las variables que han sido seleccionadas. Estas deben ser estandarizadas ya que están medidas en distintas unidades. Se obtiene 9 componentes que explican 99.99 % de la variabilidad, tanto en calibración como en validación, como se puede ver en la figura 6.2.

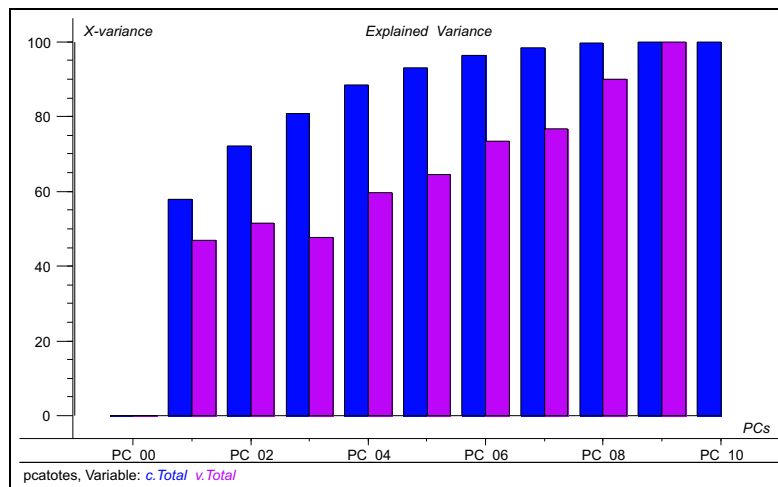


Figura 6.2: Varianza explicada del PCA con todas las variables

Como se puede ver en la figura anterior, con la primera componente se explica el 58 % de la variabilidad, y con la segunda el 14 %. Estas dos primeras componentes definen la relación entre las variables, ya que como se puede observar en la figura 6.3, la primera componente define dos grupos de variables que se relacionan negativamente, uno formado por la densidad, el aislamiento y el cuerpo, y el segundo por el espesor inicial y por las tres variables de la norma UNE 53170:2002. La segunda componente queda definida por las variables de la norma UNE 11012:1989. Esta agrupación puede tener una explicación técnica, ya que esta norma no es específica para este tipo de material. Estas agrupaciones pueden ser utilizadas en la modelización.

CAPÍTULO 6. LA NAPA TERMOFUSIONADA

Prueba	Aspecto	Cuerpo	Espesor (mm.)	Aisla (Decib.)	Coste (€/m ²)	Densidad (gr/m ²)	Pérdida Espe.(%)
1	C	3	39	48.6	1.15	518	3.8
2	C	3	41	49.0	1.10	513	3.6
3	C	4	40	49.1	1.11	519	2.5
4	C	5	39	49.1	1.15	519	2.5
5	C	4	43	48.7	1.14	511	4.6
6	C	6	38	48.9	1.11	517	2.6
7	C	4	43	48.9	1.19	512	3.4
8	C	6	39	49.2	1.20	518	2.5
9	C	5	39	49.0	1.20	520	2.5
10	C	1	41	48.8	1.15	513	4.8
11	C	4	37	49.2	1.20	523	2.7
12	C	3	40	48.9	1.15	517	3.7
13	C	1	43	48.8	1.10	512	4.6
14	C	2	42	48.7	1.20	514	3.5
15	C	1	41	48.5	1.20	507	4.8
16	C	5	40	48.7	1.19	518	3.7
17	C	2	39	48.9	1.15	517	3.8
18	C	2	42	48.9	1.19	515	3.5
19	C	3	41	48.8	1.15	517	3.6
20	C	4	43	48.7	1.10	511	4.6

Tabla 6.3: Principales variables respuesta

6.3. Implementación del DE a la Napa

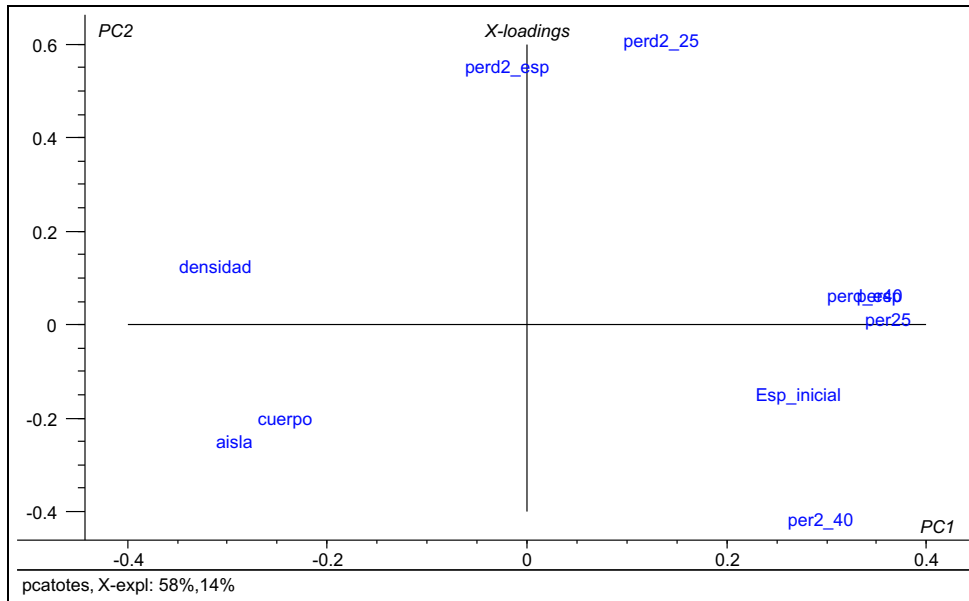


Figura 6.3: Relación entre variables respuesta.

6.3.5. Construcción del modelo

El objetivo de la construcción de modelos es explicar la relación entre las variables respuesta y los factores importantes del diseño. En el caso que se está realizando, se cuenta con 10 variables respuesta, que serán explicadas conjuntamente y de forma individual, y 14 factores del diseño, que esta formado por las variables que intervienen en el modelo cuadrático, las tres componentes, la variable del proceso, los cuadrados y las interacciones de estas. Se elige un modelo cuadrático porque se desconoce el comportamiento de las variables respuesta, y este tipo de modelización garantiza, en caso de ser necesario, una mejor aproximación de la variable dependiente Y .

Para conseguir este objetivo se utilizan varias herramientas. En primer lugar se considera la posibilidad de estudiar todas la variables en su conjunto, es decir, estudiar la relación entre todas las variables respuesta y las variables del diseño. Esto se debe acometer mediante la utilización del PLS2, como se apunta en el capítulo anterior. Una vez estudiada la relación de forma

conjunta, mediante el uso del PLS1, se estudia cada una de las variables respuesta de forma individual.

Se utiliza el principio de incertidumbre de Martens, descrito en el capítulo anterior, para la construcción de los modelos. El proceso seguido en cada una de las modelizaciones realizadas ha sido el siguiente:

1. Estandarización de los datos.
2. Construcción del modelo PLS.
3. Selección de las variables significativas mediante el test de incertidumbre de Martens.
4. Obtención del nuevo modelo. Si las variables son todas ellas significativas pasar a 5; en caso contrario, eliminar las no significativas y volver a 2.
5. Interpretación de resultados: ajuste y capacidad de predicción.

A continuación se van a describir los resultados obtenidos para cada una de las modelizaciones propuestas siguiendo los puntos mencionados anteriormente.

Modelización conjunta

Modelo PLS2 Completo: En este caso se pretende explicar el comportamiento de todas las variables que intervienen en el estudio en su conjunto. La relación que se estudia es entre las 10 variables respuesta, que forman la matriz Y , y las 14 variables explicativas, que forman la matriz X . Estos análisis se realizan utilizando el software *the Unscrambler v7.6*.

En primer lugar se estandarizan las variables respuesta para poder aplicar PLS2 al conjunto de variables, puesto que están medidas en distintas unidades. Lo primero que se observa es el número de componentes que se obtiene y el porcentaje de variabilidad que se explica. En la figura 6.4, se puede observar que para el conjunto de variables respuesta la primera componente

6.3. Implementación del DE a la Napa

explica un 3% de la variabilidad mientras que es la segunda componente la que explica verdaderamente el comportamiento de estas con un 54% de variabilidad. También se puede observar en la figura que a partir de la segunda componente el porcentaje de variabilidad explicada para la validación desciende, lo que indica que el número de componentes que explican la relación entre las variables es dos. Para las variables del diseño X la primera componente explica el 100% de su comportamiento.

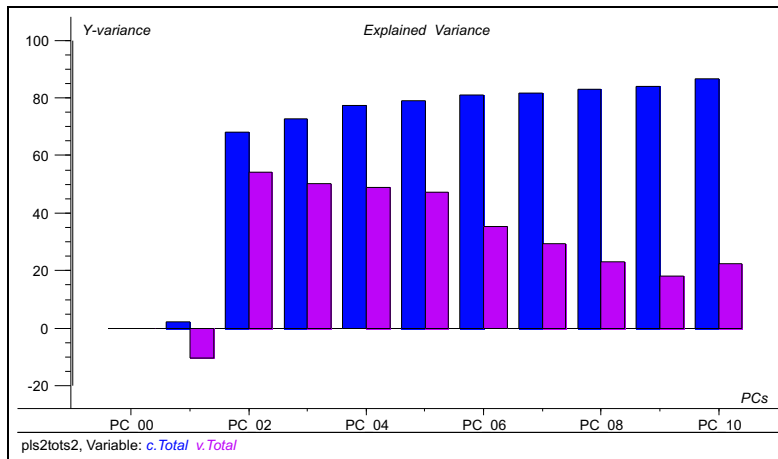


Figura 6.4: Porcentaje de variabilidad para calibración y la validación.

Una vez definido el número de componentes se debe estudiar el conjunto de variables del diseño que son significativas. Para esto se realiza un estudio de la significatividad de los coeficientes de regresión que acompaña a cada una de las variables explicativas. El resultado, para la variable respuesta densidad, se puede ver en la figura 6.5. Se obtienen resultados idénticos para el resto de variables respuesta que se pueden ver en el apéndice A. Únicamente las tres primeras variables son significativas, lo que indica que el modelo que se propone es un modelo lineal sin variable del proceso.

Una vez eliminadas del estudio las variables del diseño que no son significativas, se vuelve a realizar la modelización. En este caso se obtiene el mismo número de componentes que en la modelización anterior y con porcentajes

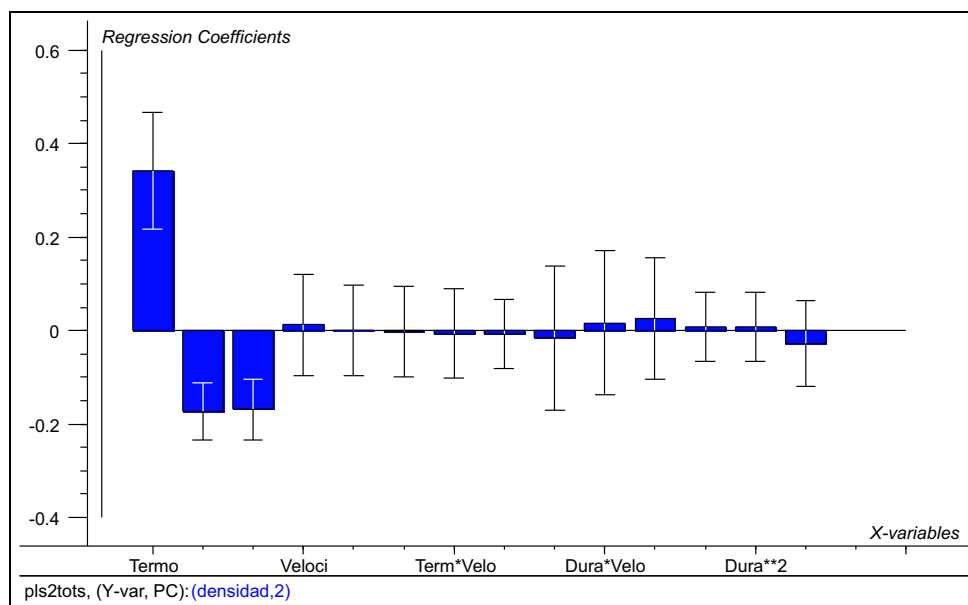


Figura 6.5: Coeficientes de regresión modelo completo.

de variabilidad explicada similares, puesto que la eliminación de las variables no significativas hace que desaparezca el ruido que estas introducen sin incidencia sobre las componentes. Como las variables que restan son todas significativas el modelo ya puede ser interpretado.

En primer lugar se puede ver la figura 6.6 que estudia la relación entre las $X's$ y las $Y's$. Como se puede interpretar del gráfico, la primera componente explica el comportamiento de las variables $X's$ en un 100% y la segunda el de las $Y's$ en un 53%. Éste es un porcentaje de variabilidad explicada no es muy elevado, de lo que se deduce que esta primera modelización no es adecuada como modelo predictivo.

Para analizar de forma más detallada la relación entre las variables respuesta se debe ver la figura 6.7. En esta se puede observar el mismo comportamiento que se analizó mediante el PCA. Si se inclina el eje hacia la derecha se observa que la primera componente explica al primer grupo definido en el apartado anterior y la segunda al otro grupo. Se deduce entonces que es

6.3. Implementación del DE a la Napa



Figura 6.6: Relación entre variables modelo completo.

interesante analizar, mediante PLS2, el comportamiento de estos dos grupos por separado.

Por último, y para desechar definitivamente esta modelización, observamos el gráfico de valores observados frente a valores predichos, que aparecen en la figura 6.8. Para el caso de la variable densidad, se puede observar que existen diferencias entre los valores observados y los predichos. Esto lleva a descartar esta modelización y ha probar nuevos modelos.

Los resultados para el resto de variables respuesta, para el gráfico de valores observados frente a predichos con PLS2, se pueden ver en el apéndice B.

Una vez visto que con el modelo completo no se consiguen buenas predicciones se decide analizar el conjunto de variables respuesta separadamente.

Modelo PLS2 Grupos La primera agrupación de las variables se realiza en base a los resultados obtenidos en el PCA, añadiendo la consideración he-

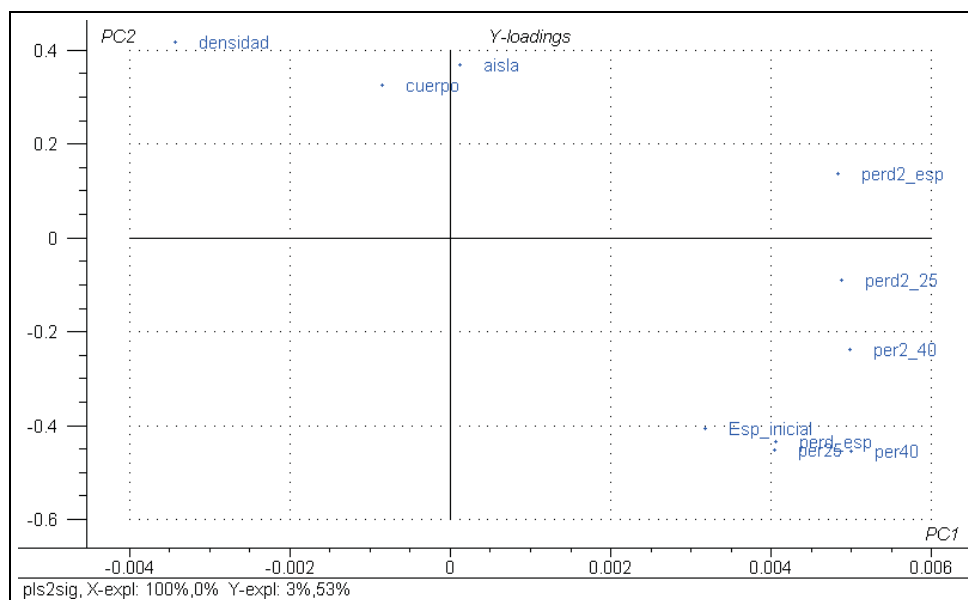


Figura 6.7: Relación entre variables respuesta modelo completo.

cha por los técnicos del estudio de analizar por separado la variable sensorial por no tratarse de una variable instrumental. Queda un primer grupo de variables formado por las siguientes variables: la densidad (Y_1), el aislamiento (Y_2), el espesor inicial (Y_3), y la tres variables indicadas en la primera normativa que se aplica (Y_4, Y_5, Y_6). El segundo grupo de variables está formado por las variables de la otra norma aplicada (Y_7, Y_8, Y_9). Se realizará en primer lugar el análisis para el primer grupo.

Este primer PLS explica la relación entre 6 variables respuesta y 14 variables del diseño. Se consiguen los siguientes resultados. El número de componentes que explicaba el comportamiento de las variables es 2, explicando un 100 % de la variabilidad de las X' s, con la primera componente, y un 78.25 % de las Y' s, un 2 % con la primera componente y el 76 % con la segunda componente. La variabilidad explicada para el total de las variables respuesta, tanto para calibración como para validación, se puede ver en la figura 6.9. Se aprecia una notable mejoría respecto a la modelización completa en cuanto

6.3. Implementación del DE a la Napa

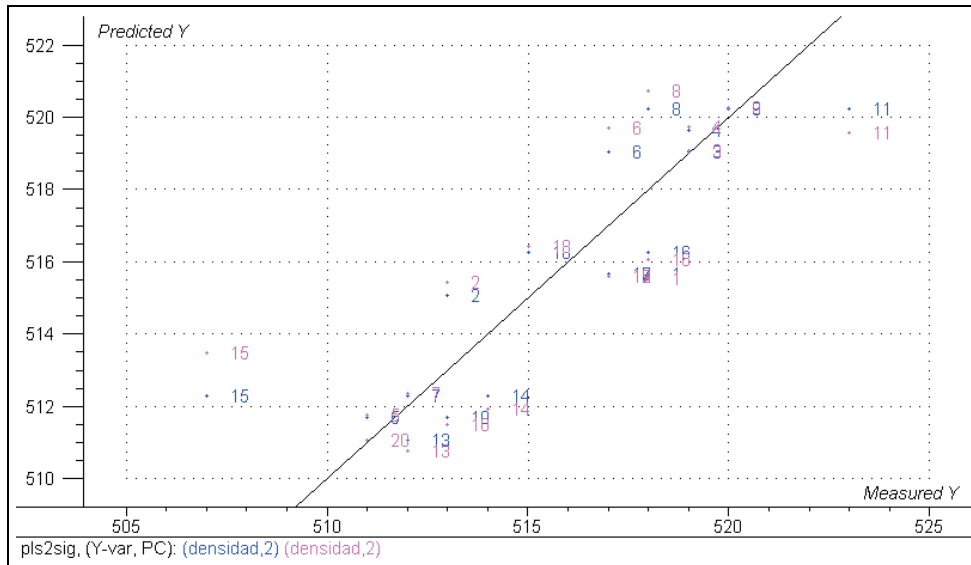


Figura 6.8: Valores observados frente a predichos densidad (Y_1) modelo completo.

al porcentaje de variabilidad explicada.

Seguidamente se eliminan del modelo aquellas variables de diseño que no sean significativas, para conseguir el modelo definitivo. Las variables cuyo coeficiente de regresión es significativamente distinto de cero son aquellas que el intervalo que se representa en el gráfico esta por encima o por debajo de 0. Como se ve en la figura 6.10 las variables significativas son sólo las componentes de la mezcla. Los coeficientes están representados para la variable aislamiento, pero el resultado es idéntico para el resto de variables respuesta analizadas.

Una vez seleccionadas las variables significativas, se deben interpretar los resultados. En primer lugar se analiza el gráfico en que se representa la relación entre todas las variables, tanto explicativas como explicadas. Este comportamiento se explica mediante la figura 6.11. Se puede observar como hay un comportamiento antagónico entre las variables, por un lado la densidad y el aislamiento, y por otro el espesor inicial y las tres variables medidas

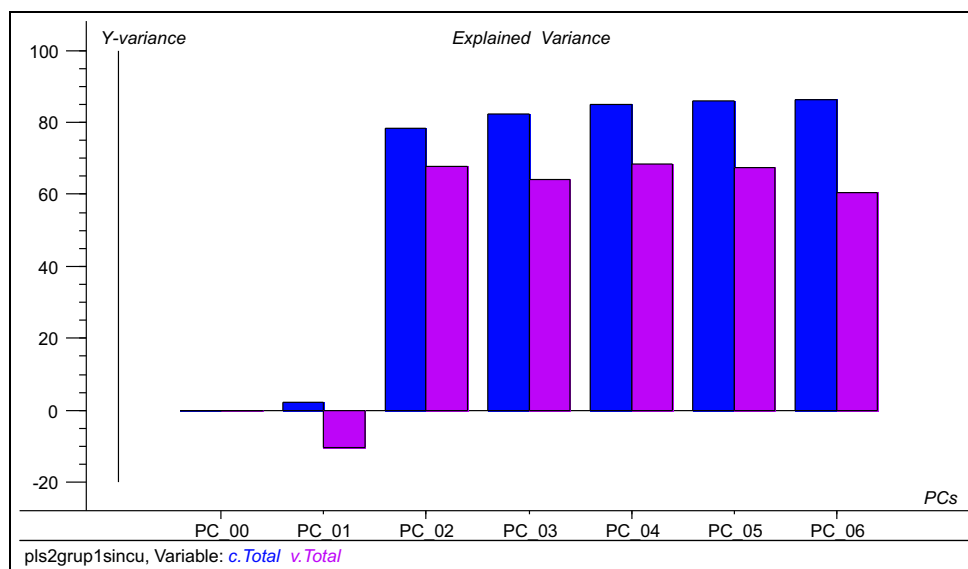


Figura 6.9: Variabilidad explicada variables respuesta (Y) grupo 1.

en la prueba de la norma, lo que indica una relación negativa entre ellas. Este comportamiento es similar tanto al del PCA como al de la modelización anterior, justificándose de nuevo la separación.

Para conocer la eficacia del modelo una vez estudiado el porcentaje de variabilidad explicado (un 100% para X y un 77% para las Y), se estudia para cada una de las variables respuesta, como funcionan las previsiones proporcionadas por el modelo propuesto. A modo de ejemplo en la figura 6.12 se puede ver el gráfico de valores observados frente a valores predichos. Existen pruebas, como la 15 o la 11, en la existe diferencia entre lo que se predice mediante el modelo y lo que se ha observado. Ésta puede considerarse importante dependiendo de la importancia que le den los técnicos a la variación entre el valor predicho y el observado. En este caso esta desviación carece de importancia.

Para estudiar los residuos que se producen entre los valores predichos y los observados de cada una de las variables respuesta estudiadas en este grupo se puede ver el apéndice C. En estos gráficos que se aprecia como la

6.3. Implementación del DE a la Napa

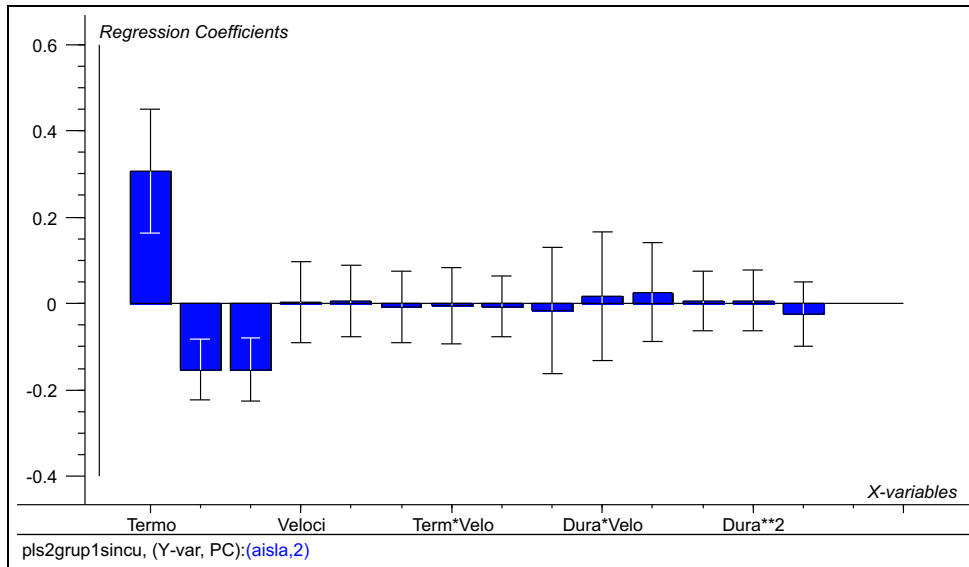


Figura 6.10: Coeficientes de regresión aislamiento grupo 1.

predicción de determinadas observaciones no están excesivamente ajustadas. Ésta es una modelización adecuada, aunque se deben analizar los resultados mediante otro tipo de agrupación, como se verá a continuación, o para cada una de las variables respuesta de forma individual.

Otra de las separaciones que puede resultar adecuadas dentro de este primer grupo es el analizar por una parte las variables instrumentales y por otra las variables que forman la norma. Si se realiza un PLS2 con la variables que forman la norma UNE 53170 se consigue un buen modelo. En un primer análisis se obtiene un 94 % de variabilidad explicada del comportamiento de las variables respuesta y la totalidad de las variables del diseño, con tres componentes. Una vez eliminadas las variables explicativas que no son significativas se obtiene un modelo únicamente con dos componentes, que es capaz de explicar un 87 % de la variabilidad en calibración y un 83 % en validación para las variables explicadas, y 100 % en ambos casos para las variables del diseño. Como se puede ver en las figuras (C.7, C.8, C.9) los modelos de predicción obtenidos son bastante correcto si exceptuamos las

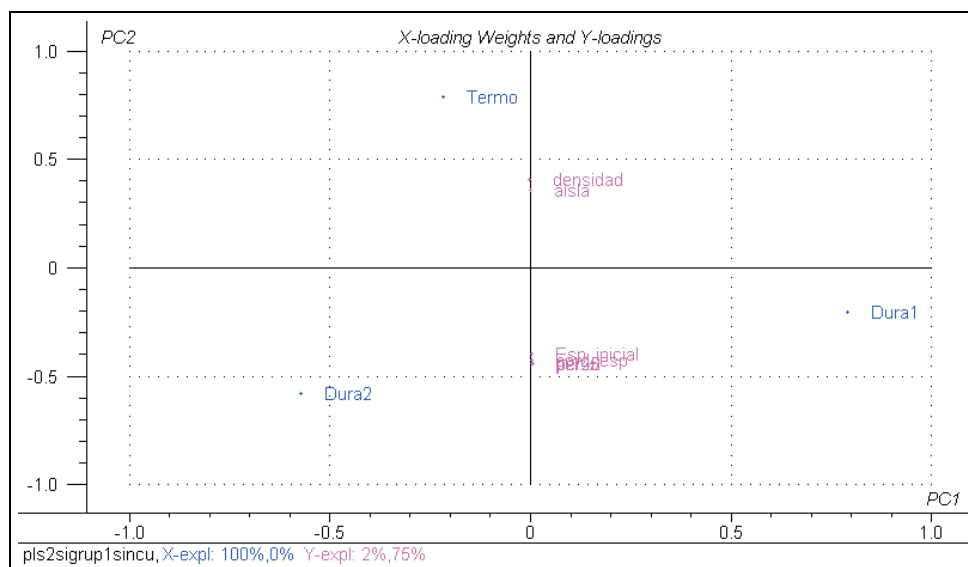


Figura 6.11: Relación entre variables grupo 1.

observaciones 7 y 14 que se distancian de la recta en los tres casos. Se podría concluir que este modelo es adecuado para predecir el comportamiento de las variables de la norma mediante las variables que componen la mezcla.

En el caso de las variables instrumentales, densidad, espesor inicial y aislamiento, se probaron dos modelos diferentes, por un lado analizando las tres variables conjuntamente y por otro separando las variables instrumentales que eran medidas en la propia fábrica, la densidad y el espesor inicial, de la variable instrumental medida en un laboratorio especializado. Además la variable aislamiento se mueve dentro de un rango de valores reducido lo que hace más complicada su modelización.

El modelo inicial construido con las tres variables instrumentales se compone de dos componentes que explican el 100 % de la variabilidad de X y el 69 % de Y para calibración (99 % y 56 % para la validación respectivamente). Si se eliminan del modelo las variables que no son significativas quedan únicamente las tres variables que forman la mezcla. Consiguiendo un modelo con dos componentes que explican el 100 % y el 67 % de variabilidad de X

6.3. Implementación del DE a la Napa

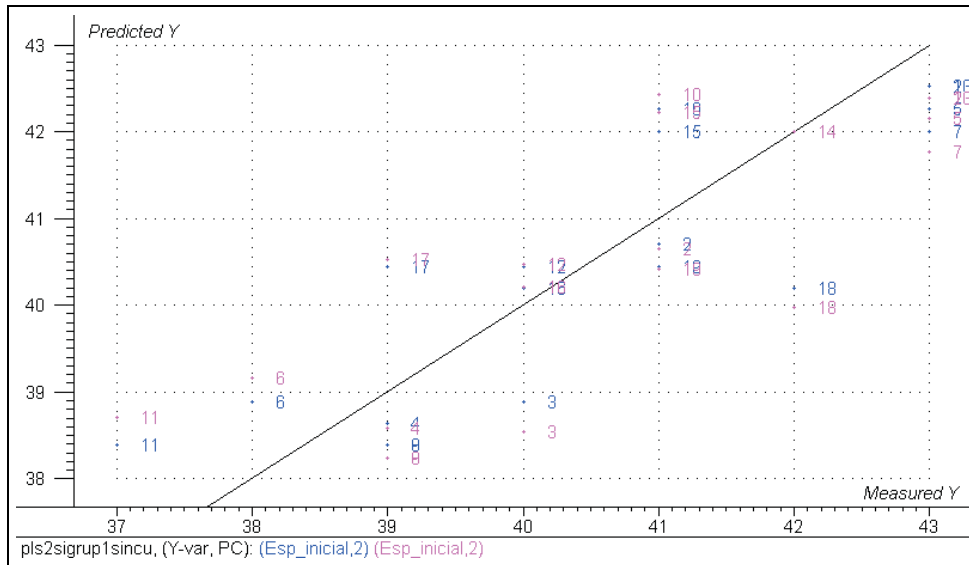


Figura 6.12: Predicciones espesor inicial grupo 1.

e Y, respectivamente. La relación que se establece entre las variables es la que se puede ver en la figura 6.13.

Las figuras donde se muestra la relación entre los valores que predice el modelo y los valores observados en cada muestra se pueden ver en el apéndice C. Se puede observar que las predicciones no son muy ajustadas lo que hace pensar que el modelo que se consigue no es demasiado adecuado para realizar predicciones.

Por lo tanto es el momento de probar que resultados se obtienen intentando modelizar las variables medidas en fábrica mediante las 14 variables del diseño. En la primera modelización mediante dos componentes se consigue explicar el 76 % de la variabilidad de las variables instrumentales y el 99 % de las variables del experimento. Al existir variables que no son significativas estas se deben eliminar del modelo, obteniendo en este caso el mismo número de componentes pero en este caso explican el 73 % y el 100 % de la variabilidad de las variables explicadas y explicativas. El porcentaje de variabilidad explicada, aunque no es excesivo, es aceptable (ver apéndice C figura C.13).

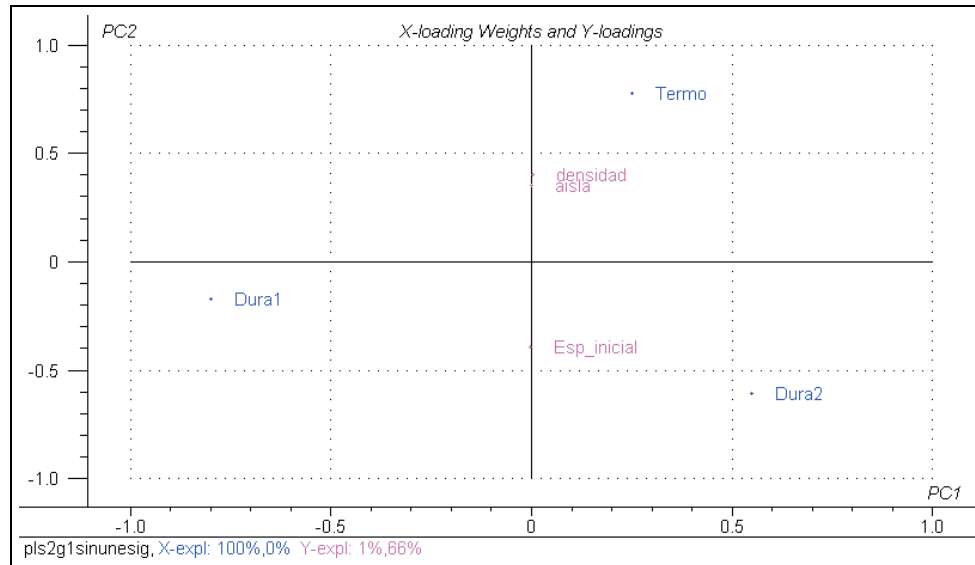


Figura 6.13: Relación entre variables variables instrumentales.

Después de observar las predicciones (ver apéndice C figuras C.14, C.15) se concluye que el modelo ajustado es mejor que el anterior.

La construcción del modelo para las variables del segundo grupo que se ha observado por el PCA, la tres variables que se miden según la normativa UNE 11012 aplicada y los factores del modelo cuadrático, no resulta satisfactorio. Puesto que, aunque explique casi la totalidad de la variabilidad de las variables del diseño, solo explica un 18% de la variabilidad de las respuesta con las dos primeras componentes. Con un porcentaje tan bajo se deduce que el modelo propuesto no es adecuado, y se deberán modelizar estas variables de forma individual. En la figura C.16, que se encuentra en el apéndice C, se puede ver como ninguna de las variables es significativa.

A continuación se desarrollan los modelos individuales, mediante la modelización PLS, para cada una de las variables que se pretenden explicar.

Modelización individual

Se realizó un modelo PLS1 para cada una de las variables respuesta estudiadas para poder comparar con la modelización conjunta y decidir que modelo de predicción es el más adecuado. La estructura de cada uno de los modelos es la misma que la explicada con anterioridad. En primer lugar se construye el modelo con una variable explicada y las 14 variables explicativas. Se comprueba el número de componentes seleccionadas, y después se eliminan del modelo las variables del diseño cuyo coeficiente no sea significativamente distinto de cero. Una vez eliminadas las variables que no aportan información al modelo se comprueba lo bueno que es el ajuste y se analiza la capacidad de las predicciones proporcionadas. Se muestra para cada uno de los modelos el gráfico de valores observados frente a predichos para observar la capacidad de predicción del modelo obtenido, el resto de los resultados obtenidos (gráfico de loadings X e Y , gráfico de residuos y coeficientes de regresión) se pueden ver en los apéndices D y E.

PLS1 para la densidad:

Como se ha comentado al principio el primer modelo que se plantea es la explicación de la densidad mediante un modelo cuadrático. El número de componentes que se seleccionan para la explicación del comportamiento de la variable densidad (Y_1) es dos, explicando con la primera componente el 99 % de la variabilidad de las variables del diseño y el 2 % de la variable explicada, y en la segunda componente el 79 % de la variabilidad de la densidad. Al igual que sucedía en las modelizaciones anteriores, este modelo no resulta adecuado, puesto que ni la variable del proceso, ni los cuadrados, ni las interacciones son significativas. Por lo que deben ser eliminadas del modelo para volver a realizar los cálculos únicamente con las variables significativas. Una vez eliminadas se obtienen el mismo número de componentes pero en este caso explican el 100 % de la variabilidad de las X y el 75 % de la variabilidad de las Y (un 2 % en la primera y un 73 % en la segunda).

En la figura 6.14 se puede ver como de buenas son las predicciones obte-

nidas. Se observa que las predicciones están ajustadas para la mayoría de muestras.

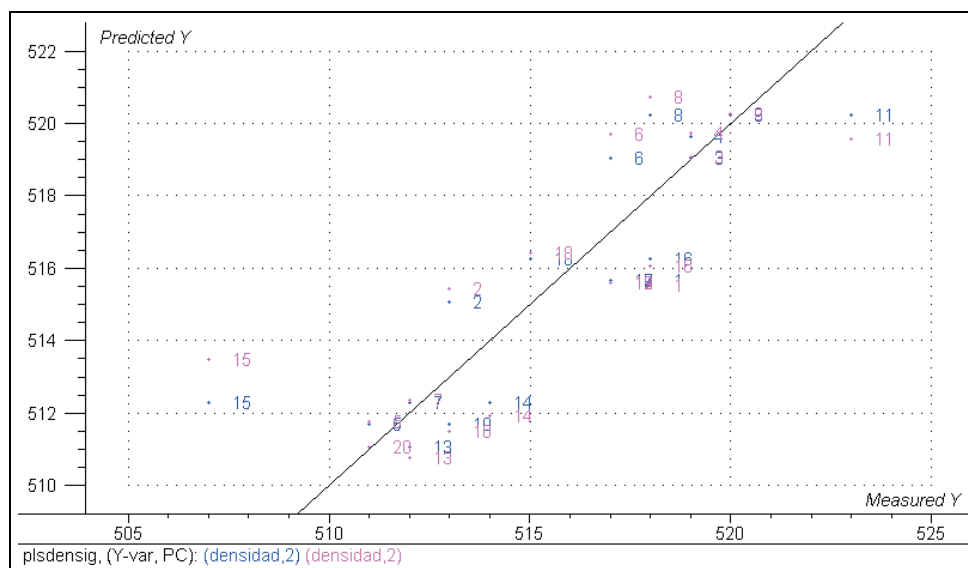


Figura 6.14: Predicciones del modelo para densidad.

PLS1 para el espesor:

Al igual que sucede en las otras modelizaciones el número de componentes sugeridas es dos, que explican el 99% de la variabilidad de las variables explicativas y el 77% de las variables explicadas. Como existen variables del diseño que sus coeficientes son iguales a cero, son eliminadas del modelo. Se obtienen de nuevo 2 componentes, en esta ocasión explicando el 100% de las X y el 2% de las Y con la primera, y el 69% de las Y con la segunda. En la figura 6.15 se observa como las predicciones se ajustan a los valores observados y se configuran formado una recta.

PLS1 para el aislamiento:

Para el caso del aislamiento se opera al igual que los casos anteriores. Se obtiene dos componentes de partida que explican para las X , el

6.3. Implementación del DE a la Napa

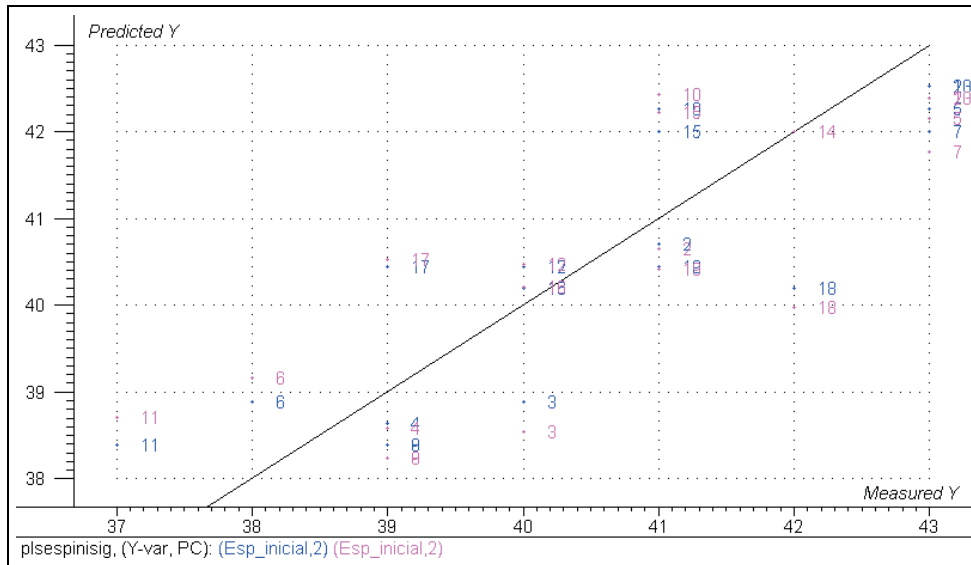


Figura 6.15: Predicciones del modelo para espesor.

96 % y el 3 %, y el 2 % y el 63 % para las Y . Con la eliminación de las variables no significativas, las variables del proceso, los cuadrados y las interacciones, se obtiene un modelo únicamente con las tres componentes de la mezcla. Éste explica el 99 % de la variabilidad de las variables que forman la mezcla, un 96 % en la primera y un 3 % en la segunda, y un 58 % de la variable densidad, explicando un 3 % en la primera y un 55 % en la segunda componente. A partir de realizar estas operaciones ya se puede analizar la modelización obtenida. Se puede observar en la figura 6.16 el comportamiento de los valores predichos. El ajuste para determinadas observaciones no es demasiado bueno. Esto es debido a que el rango de valores que tiene la variable no es excesivamente grande, por tanto es difícil ajustar un modelo adecuado.

PLS1 para el cuerpo:

A diferencia del resto de modelos realizados en este caso el número de componentes que se sugieren es de 5. Estas son capaces de explicar

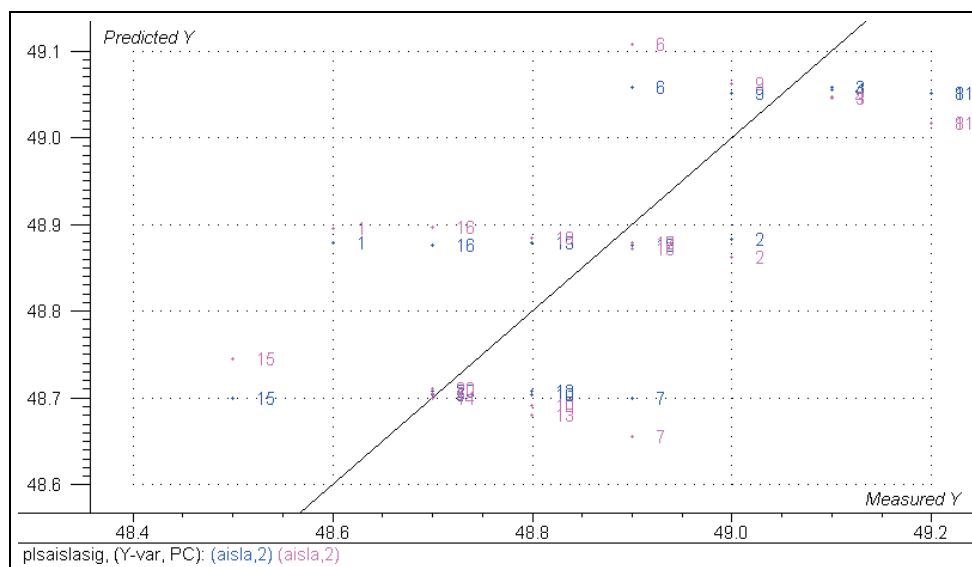


Figura 6.16: Predicciones del modelo para aislamiento.

el 100 % de la variabilidad de las variables del diseño y el 99 % de la variable respuesta. También es este caso existen variables que no son significativas y son eliminadas. En esta ocasión se obtiene un modelo formado por las tres variables que componen la mezcla y la variable del proceso, luego se diferencia de los demás modelos porque incorpora como significativa la variable velocidad. Una vez eliminadas las variables no significativas se obtienen 3 componentes para explicar el comportamiento entre las variables, explicando la primera componente el 99 % para X y el 1 % para Y , la segunda componente explica el 1 % para X y el 60 % para Y , y la tercera y última componente explica el 34 % de la variabilidad de la variable respuesta, haciendo un total de 95 % de variabilidad explicada para Y . El modelo que se consigue es un modelo muy bueno puesto que como se aprecia en la figura 6.17 todos los puntos predichos coinciden con sus valores observados respectivos.

PLS1 para pérdida de espesor (UNE 53170:2002):

6.3. Implementación del DE a la Napa

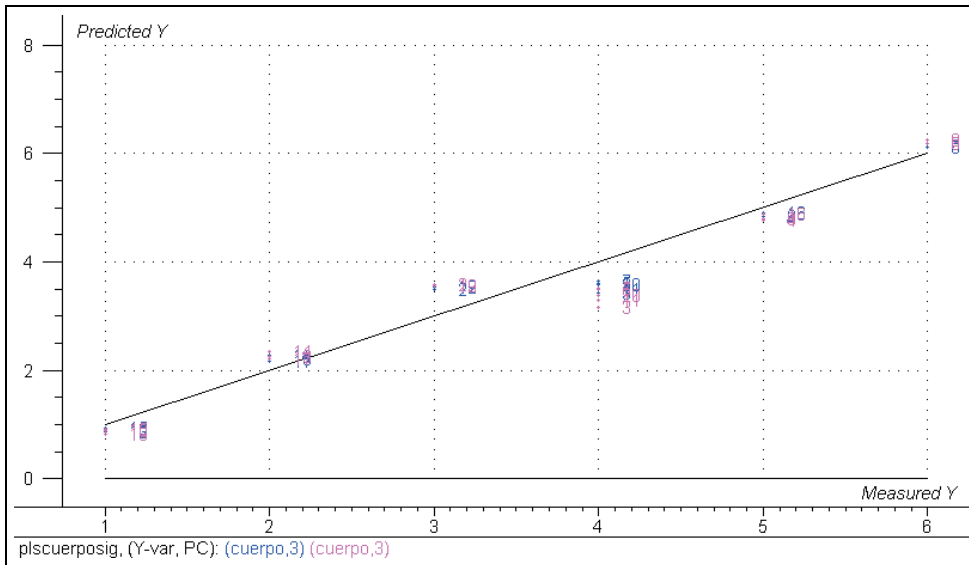


Figura 6.17: Predicciones del modelo para cuerpo.

El modelo inicial obtenido para explicar la pérdida de espesor mediante las variables del diseño tiene tres componentes. La primera explica el 99% de variabilidad para la matriz de valores X y solo un 3% de la de vector Y . Por el contrario la segunda explica un 86% de la variabilidad de Y y la tercera un 4%. Al eliminar las variables que no son significativas para el modelo esta tercera componente desaparece, obteniendo el 82% y el 76% de variabilidad explicada en calibración y en validación para la variable dependiente y 99.99% en ambos casos para las variables del diseño significativas. El modelo que se obtiene es el mismo que el obtenido para el resto de variables instrumentales analizadas, en el que las variables significativas son solo las tres componentes de la mezcla. El gráfico de loadings, el de coeficientes y el de residuos de las predicciones para cada observación se pueden ver en el apéndice E. Las predicciones que se obtienen son adecuadas aunque existen tres puntos, 7, 14 y 15 que la predicción se aleja de verdadero valor, como se puede ver en la figura 6.18.

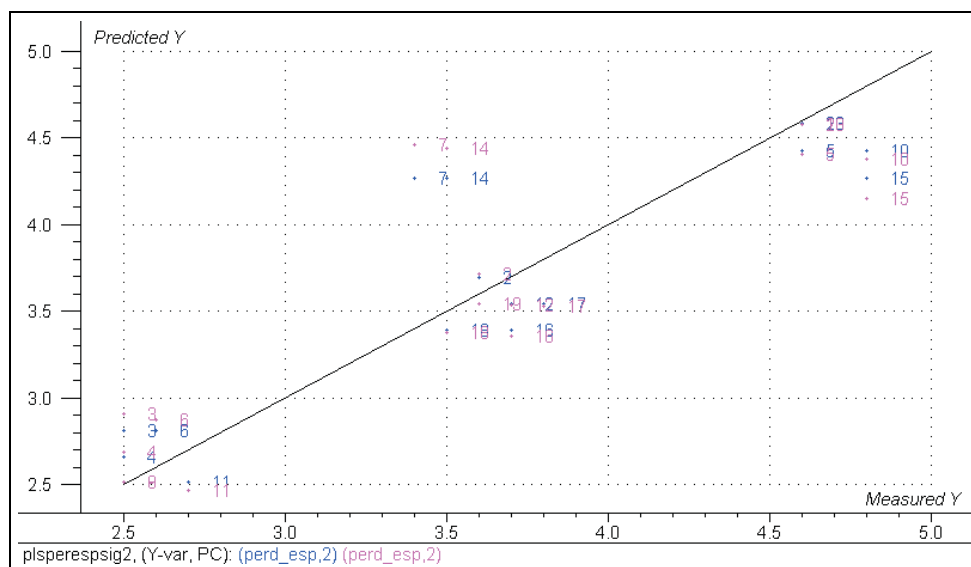


Figura 6.18: Predicciones del modelo para perdida de espesor.

PLS1 para pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002):

Para esta segunda variable medida según la norma los resultados también son similares al caso anterior. Se consigue en primer lugar un modelo con tres componentes que explican el 99 % de variabilidad de las X , tanto para calibración como para validación, con solo la primera componente. Es la variable Y la que está explicada por las tres componente en un 3 %, 90 % y un 2 % respectivamente. Con la eliminación de las variables no significativas se obtiene un modelo con dos componentes que en este caso explican el 3 % y el 85 % de la variabilidad de la variable respuesta y el 100 % de la variabilidad de las variables del diseño. Las variables cuyos coeficientes son significativamente distintos de cero son tres, correspondientes a las variables que componen la mezcla. Al igual que sucede con la variable anterior las predicciones son correctas excepto las de las muestras 7 y 14, que se alejan del resto. En la figura 6.19 se puede ver con claridad como se alejan de la recta.

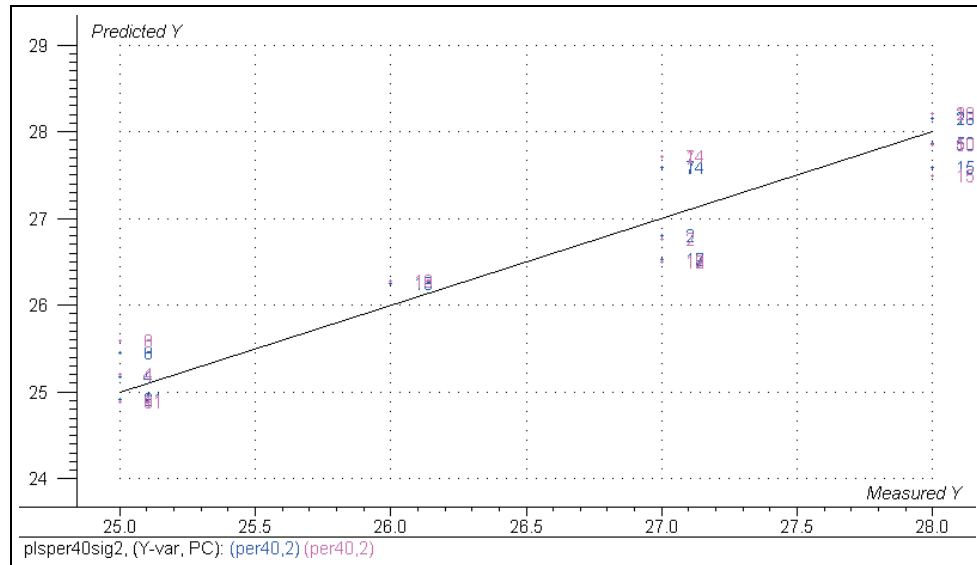


Figura 6.20: Predicciones del modelo para pérdida al 40 %.

PLS1 para variables de la norma UNE 11012:1989:

En esta ocasión, al desarrollar cada una de las variables respuesta por separado, en ninguno de los tres casos se ha obtenido un modelo con variables significativas. Los porcentajes de variabilidad explicado para la variable explicativa, con dos componentes, son del 33 %, el 20 % y el 28 % para la pérdida de espesor, y la pérdida de dureza al 25 % y al 40 % de la norma UNE 11012:1989, respectivamente. Las componentes si que son capaces de explicar casi la totalidad del comportamiento de las variables del diseño. Como se puede ver en las figuras siguientes (6.21, 6.22, E.10) no se consiguen variables cuyos coeficientes sean distintos de cero, luego no se pueden construir los modelos deseados.

Una vez generados los modelos, tanto para explicar las variables conjuntamente como para explicarlas individualmente, se eligen aquellos que se consideren más adecuados. Si se comparan y analizan los resultados obtenidos para las modelizaciones realizadas se deduce:

6.3. Implementación del DE a la Napa

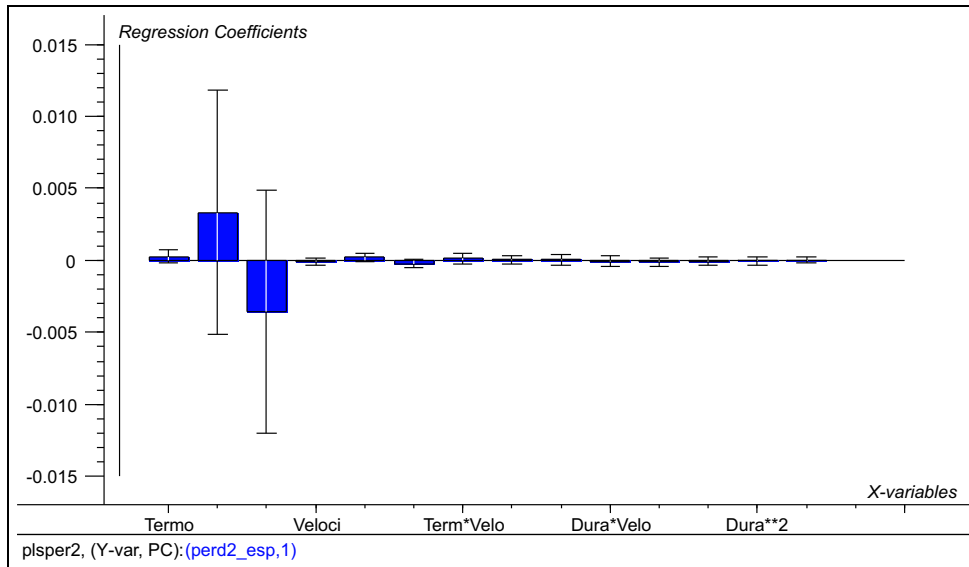


Figura 6.21: Coeficientes de pérdida de espesor en UNE 11012:1989.

- La variable cuerpo tiene un comportamiento diferente al resto de variables. Esto puede ser debido a que es la única variable que se mide sensorialmente. Esta nos proporciona un modelo donde intervienen las tres variables de la mezcla y la variable del proceso. Es capaz de explicar el 95 % de la variabilidad de tiene la variable respuesta. El modelo ofrece unas buenas predicciones.
- Las variables que se miden según la norma UNE 11012:1989 no pueden ser modelizadas mediante esta herramienta. Tanto para la modelización conjunta de las tres variables mediante PLS2, como la modelización individual mediante PLS1 no resulta satisfactoria y en ninguno de los dos casos se obtienen modelos adecuados. Esto puede ser debido, según la opinión de los técnicos, a que la norma aplicada no está pensada para este tipo de materiales, ya que la propia norma indica que *los ensayos no son adecuados para valorar la aptitud de materiales de relleno, tapicería o acolchados de espuma*. Por lo que se descarta este conjunto de variables.

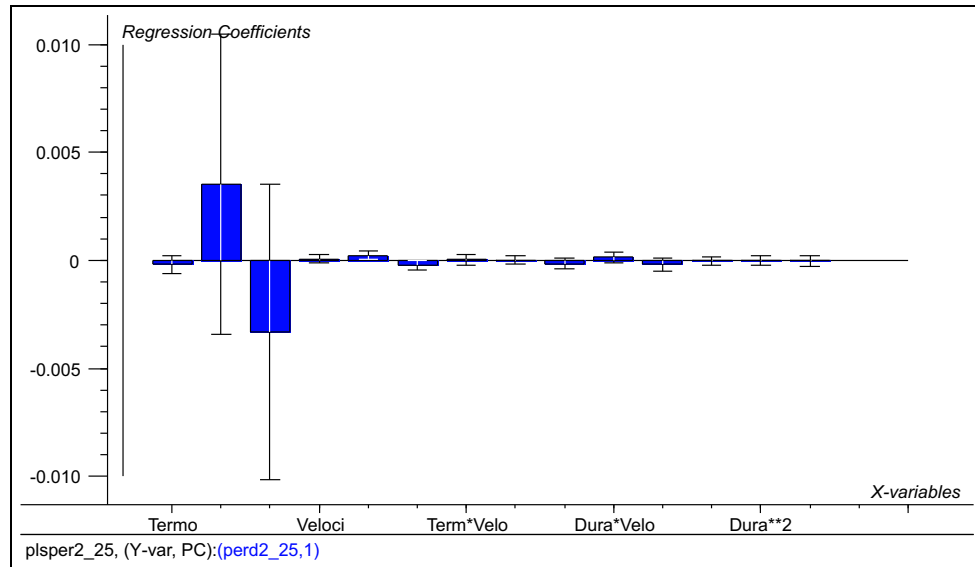


Figura 6.22: Coeficientes de pérdida de dureza al 25 % en UNE 11012:1989.

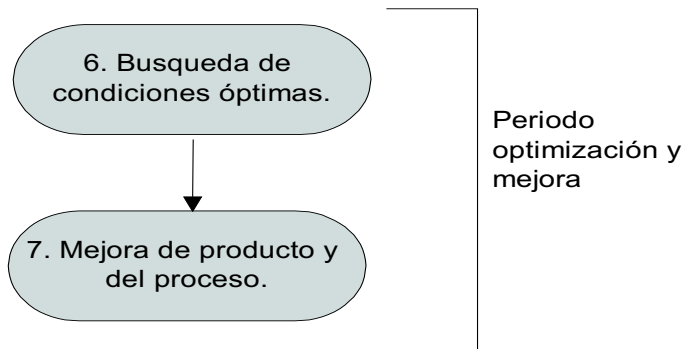
- En cuanto a las variables que forman el primer grupo, formada por el conjunto de variables instrumentales excepto las medidas en la norma anterior se obtienen resultados satisfactorios tanto con la modelización individual (PLS1) como la modelización conjunta (PLS2). Pero se aprecia que al efectuar la separación de este conjunto de variables en una agrupación determinada por el lugar donde se han medido las variables, se consiguen modelos más satisfactorios. Como el objetivo que se persigue es conseguir los modelos que mejor puedan predecir el comportamiento de la respuesta para poder así obtener la mezcla óptima se considera que es más adecuado realizar esta división, entre variables instrumentales medidas en fábrica, variables instrumentales medidas en laboratorio de la fábrica según la norma, y la variable instrumental medida en un laboratorio especializado. Se considera oportuno descartar la modelización de la variable aislamiento puesto que el rango de los resultados dificulta su modelización, y en opinión de

6.3. Implementación del DE a la Napa

los técnicos estas diferencias no son apreciables.

Una vez decidido que modelos se van a utilizar para describir cada una de las variables se procede a buscar cuales son las condiciones óptimas de la mezcla diferenciado al sector donde va dirigido el producto y sus exigencias.

6.3.6. Búsqueda de condiciones óptimas



Esta es la última de etapa de la metodología propuesta. Ésta consiste en la búsqueda de las condiciones óptimas de fabricación, dependiendo del uso que se le asigne al producto y de las exigencias para las variables que definen la calidad del producto. Se quieren conseguir las condiciones de mezcla idóneas, tanto para la cantidad de componente de cada mezcla como para la velocidad de fabricación.

Para realizar esta labor era necesario volver a reunirse todos las personas responsables del producto para definir bien que exigencias se querían alcanzar en cada sector. En primer lugar se definieron los sectores donde se podía o se estaba comercializando el producto. Los sectores para los que se decidió estudiar las condiciones óptimas fueron:

- Hogar. Se puede utilizar en el relleno de almohadas o edredones nórdicos.
- Mueble. Su uso más común es el de interior de muebles tapizados.

- Colchón. Puede utilizarse como relleno de colchones.
- Automoción. Aunque se utilice para el interior de los asientos, al tratarse de un sector muy exigente se trata independientemente.
- Juguete. Sirve para relleno de muñecos y peluches.
- Construcción. Se utiliza para revestimiento e insonorización de paredes.
- Higiene. Se puede utilizar como filtro o como ajuar de bebé.
- Climatización. Sirve como revestimiento de conducto de aire acondicionado, es sustitución de la lana de vidrio que es tóxica.

Una vez se establecieron los sectores sobre los que actuar, se tenía que decidir como actuar sobre las variables respuesta seleccionadas en cada uno de ellos. En primer lugar se debían definir los objetivos que se pretendían alcanzar en cada sector, decidiendo si se quería maximizar (max.), minimizar (min.) o llegar a un valor objetivo (v.o.) determinado para cada variable respuesta definida.

Una vez establecidos los objetivos se debía decidir el nivel de exigencia que se deseaba obtener para cada variable respecto al objetivo planteado. Se debía decidir, para cada uso elegido, si se quería ser muy exigente o poco para llegar al valor deseado. Para poder realizar esta tarea sin necesidad de manejar los valores habituales utilizados para las funciones de deseabilidad, valores de $s \ y \ t < 1$ poco exigente (puesto que se llega al valores deseado rápidamente) o valores de $s \ y \ t > 1$ (puesto que se llega al objetivo más lentamente), se decidió utilizar una escala. En la que los valores se definían como sigue: 1 como nada exigente, 2 como poco exigente, 3 como algo exigente, 4 como bastante exigente y 5 como muy exigente.

Otra de las tareas que se realizó fue la de ponderar cada variables respuesta según el peso que se le diera en ese sector. Así que se debía proporcionar un porcentaje de importancia a cada una de las variables respuesta, sumando entre todos el 100 %. Los resultados obtenidos para

6.3. Implementación del DE a la Napa

cada sector y cada una de las decisiones tomadas para cada variables se pueden ver en la tablas 6.4, 6.5 y 6.6.

Una vez definidos los objetivos y las exigencias para cada una de las variables en cada uno de los usos, se deben construir las funciones de deseabilidad según los parámetros elegidos. En primer lugar es necesario tomar el modelo de predicción para cada una de las variables, obtenidos en el punto anterior. Los modelos son:

- Densidad (Y_1):

$$\hat{Y}_1 = 526,2569 + 1,325X_1 - 0,671X_2 - 0,654X_3$$

- Espesor inicial (Y_2):

$$\hat{Y}_2 = 35,351 - 0,6956X_1 + 0,3529X_2 + 0,3447X_3$$

- Pérdida de espesor (Y_4):

$$\hat{Y}_4 = 1,1916 - 0,2939X_1 + 0,1494X_2 + 0,1454X_3$$

- Pérdida de dureza al 25 % (Y_5):

$$\hat{Y}_5 = 17,6556 - 0,2839X_1 + 0,1442X_2 + 0,1404X_3$$

- Pérdida de dureza al 40 % (Y_6):

$$\hat{Y}_6 = 22,9363 - 0,4489X_1 + 0,2286X_2 + 0,2203X_3$$

- Cuerpo (Y_{10}):

$$\hat{Y}_{10} = 6,8816 + 0,424X_1 - 0,212X_2 - 0,211X_3 + 1,384X_4$$

- Coste (Y_{11}):

$$\hat{Y}_{11} = 1,25X_1 + 1,05X_2 + 1,175X_3$$

Sector	Objetivo	Exigencia	Ponderación
Hogar			
<i>Densidad</i>	v.o.	3	10 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	4	15 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	3	10 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	3	10 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	3	10 %
<i>Cuerpo</i>	max.	5	25 %
<i>Coste</i>	min.	5	20 %
Mueble			
<i>Densidad</i>	v.o.	4	20 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	4	15 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	4	20 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	4	10 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	4	10 %
<i>Cuerpo</i>	max.	3	10 %
<i>Coste</i>	min.	5	15 %
Colchón			
<i>Densidad</i>	v.o.	4	10 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	4	10 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	4	20 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	4	15 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	4	15 %
<i>Cuerpo</i>	max.	3	15 %
<i>Coste</i>	min.	5	15 %

Tabla 6.4: Valoraciones variables de calidad

6.3. Implementación del DE a la Napa

Sector	Objetivo	Exigencia	Ponderación
Automoción			
<i>Densidad</i>	v.o.	5	20 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	5	20 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	5	10 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	5	10 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	5	10 %
<i>Cuerpo</i>	max.	1	5 %
<i>Coste</i>	min.	4	25 %
Juguete			
<i>Densidad</i>	v.o.	3	15 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	4	15 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	4	10 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	4	10 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	4	10 %
<i>Cuerpo</i>	max.	5	20 %
<i>Coste</i>	min.	4	20 %
Construcción			
<i>Densidad</i>	v.o.	5	30 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	3	15 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	3	5 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	3	5 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	3	5 %
<i>Cuerpo</i>	max.	3	10 %
<i>Coste</i>	min.	5	30 %

Tabla 6.5: Valoraciones variables de calidad (continuación)

Sector	Objetivo	Exigencia	Ponderación
Higiene			
<i>Densidad</i>	v.o.	3	12 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	4	12 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	4	12 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	4	12 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	5	12 %
<i>Cuerpo</i>	max.	5	20 %
<i>Coste</i>	min.	5	20 %
Climatización			
<i>Densidad</i>	v.o.	4	20 %
<i>Espesor Inicial</i>	v.o.	3	15 %
<i>Pérdida de Espesor</i>	max.	3	10 %
<i>Pérdida de dureza al 25 %</i>	max.	3	10 %
<i>Pérdida de dureza al 40 %</i>	max.	3	10 %
<i>Cuerpo</i>	max.	3	15 %
<i>Coste</i>	min.	4	20 %

Tabla 6.6: Valoraciones variables de calidad (continuación)

6.3. Implementación del DE a la Napa

Cuando ya se dispone de cada modelo se debe construir la función de deseabilidad para cada variable, dependiendo del objetivo que se le haya asignado. Recordemos la función si:

Maximiza:

$$d = \left\{ \frac{\hat{y} - A}{B - A} \right\}^s, \quad A \leq \hat{y} \leq B$$

Minimiza:

$$d = \left\{ \frac{\hat{y} - C}{B - C} \right\}^s, \quad B \leq \hat{y} \leq C$$

Valor Objetivo:

$$d = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y} - A}{B - A} \right)^s, & A \leq \hat{y} \leq B \\ \left(\frac{\hat{y} - C}{B - C} \right)^t. & B \leq \hat{y} \leq C \end{cases}$$

Los valores A, B, o C son valores máximos, centrales o mínimos dependiendo del objetivo. Los niveles de exigencia s y t son asignados en función del nivel decidido inicialmente. Así que si no se es nada exigente se le asigna valores de s y t alrededor de 0.1 y si el nivel de exigencia es máximo se le asigna a s y t valores alrededor de 5. Éstos valores varían según los niveles establecidos para cada sector.

Cuando ya están construidas las funciones de deseabilidad, se debe construir la función de deseabilidad global para todas las variables conjuntamente. Ésta es la media geométrica calculada utilizando las ponderaciones iniciales y las funciones de deseabilidad individuales. El objetivo es, para cada uno de los sectores, encontrar los porcentajes de mezcla y la velocidad óptimos para que la deseabilidad conjunta sea máxima. Ésta tarea se realizó utilizando la aplicación para optimizar *Solver* de *Excel*.

Por ejemplo, los resultados obtenidos para el sector Hogar se pueden ver en la tabla 6.7.

En el apéndice F están los resultados para cada uno de los sectores que se han estudiado. Todas las funciones de deseabilidad totales son

Sector Hogar	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.52
Espesor inicial	0.99
Pérdida de espesor	0.30
Pérdida de dureza al 25 %	0.29
Pérdida de dureza al 40 %	0.33
Cuerpo	0.67
Coste	0.64
TOTAL	0.92

Tabla 6.7: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector hogar

mayores de 0.8, lo que hace concluir que los resultados obtenidos son buenos, es decir, que los valores óptimos conseguidos al maximizar la función de deseabilidad son altamente adecuados para alcanzar los objetivos planteados para cada sector. En la tabla 6.8 podemos observar, en forma de resumen, cuales son las condiciones óptimas para cada variable de la mezcla en cada uno de sus usos.

Con los resultados obtenidos, y como la diferencia entre algunos resultados era inapreciable según los técnicos, se concreto resumir en 4 mezclas diferentes. Éstas fueron las obtenidas para:

1. el sector Hogar. Es la mezcla que más fibra de termofusión utiliza más del 29 %.
 2. el colchón. En este caso es la mezcla que menos fibra de termofusión necesita alrededor del 27 %.
 3. el sector Construcción. En esta ocasión la mezcla obtenida es totalmente diferente al resto siendo la única que introduce porcentaje de fibra compacta, un 14 %.
-

6.3. Implementación del DE a la Napa

Sector	F. Termo	F. Hueca	F. Compacta	Velocidad
	x_1	x_2	x_3	x_4
<i>Hogar</i>	29.22	70.88	0	1
<i>Mueble</i>	27.94	72.06	0	1
<i>Colchón</i>	27.25	72.75	0	1
<i>Automoción</i>	28.02	71.98	0	1
<i>Juguete</i>	28.08	71.92	0	1
<i>Construcción</i>	27.88	57.88	14.24	1
<i>Higiene</i>	27.97	72.03	0	1
<i>Climatización</i>	28.02	71.98	0	1

Tabla 6.8: Valores óptimos por sector

- el resto de sectores agrupados. Aquí se agrupan las mezcla que están cercanas y que se pueden agrupar entorno al 28 % y el 72 % de fibra termo y hueca respectivamente.

Una vez decididas la diferentes mezclas y condiciones de operar, es necesario poder validar estos resultados, comprobando para cada mezcla propuesta si asume las prestaciones para el sector al que representa.

A continuación se desarrollará las medidas que se han tomado para conseguir la mejora del producto.

6.3.7. Mejora del producto y del proceso

Antes de emprender las acciones necesarias, se validaron los resultados obtenidos. Para ello se realizaron unas pruebas de confirmación sobre las mezclas óptimas propuestas, con el objetivo de verificar si los resultados obtenidos cumplen las condiciones que se le asignan en cada uso. Para la realización de estas pruebas se hizo necesaria la elaboración de las nuevas mezclas con las condiciones obtenidas.

Cuando se tuvieron las nuevas muestras, se les sometió de nuevo a la

medición de las variables respuesta de interés. Los resultados fueron satisfactorios para cada una de las pruebas realizadas, obteniendo las prestaciones que se pretendían alcanzar. En cada caso se obtuvo un producto con las características que se requerían de él según el uso que se le iba a proporcionar, por ejemplo, para la mezcla obtenida para el sector construcción se obtuvo un producto con gran compacidad y cuerpo que permite su utilización como aislante. Para el caso de la mezcla estándar, utilizada en varios sectores diferentes, se consiguió que esta se adaptara a los diferentes usos que se le proporcionaba. En el sector hogar se obtuvo un producto con unas condiciones de espesor adecuadas para el uso en almohadas. Cuando se utilizaba para el relleno de colchones se consiguió un producto con excelentes prestaciones a muy buen coste.

Una vez confirmados los resultados, se reunieron de nuevo el grupo de expertos encargados de la experimentación y se decidió tomar en cuenta las siguientes consideraciones para mejorar el proceso y el producto:

- a. Cambiar los porcentajes de mezcla según al sector al que iba dirigido el producto.
- b. Producir siempre a la velocidad máxima que permite la maquinaria para conseguir la máxima producción.
- c. Utilizar la experimentación como base de la mejora, experimentado sobre nuevas variables respuesta y con nuevas fibras.

La principal conclusión a la que llegó el grupo de trabajo fue que el uso de experimentos diseñados proporcionaba resultados que, sin la utilización de este tipo de herramientas, son muy difíciles de alcanzar. De aquí que se decidiera contar con formación específica sobre el tema para poder aplicar estas técnicas por sí solos. Se alcanzó una mejora considerable en cuanto a los costes de producción y a la cantidad de fibra que se debía almacenar, por la reducción del porcentaje de fibra

6.3. Implementación del DE a la Napa

Tipo Mezcla	F. Termo (%)	F. Hueca (%)	F. Compacta (%)	Precio (€/Kg)
ANTES				
<i>Mezcla 1</i>	30	30	40	1.16
<i>Mezcla 2</i>	30	40	30	1.1475
AHORA				
<i>Hogar</i>	29	71	0	1.108
<i>Colchón</i>	27	73	0	1.104
<i>Construcción</i>	28	58	14	1.1235
<i>General</i>	28	72	0	1.106

Tabla 6.9: Estudio de costes

de termofusión utilizada en alrededor de un 2 %. Este hecho supone un gran ahorro por tratarse de la fibra más costosa de las utilizadas.

En la tabla 6.9 se puede ver, un estudio del ahorro que representa la producción de los distintos tipos de napa que se propone producir. Se puede observar como el precio de las nuevas mezclas obtenidas es inferior a las dos tipos de mezclas que se venían produciendo.

Aunque parezca que las diferencias de precios entre las mezclas utilizadas antes de la experiencia y ahora no sean elevadas hay que considerar, por ejemplo, que la demanda media mensual de napa de uso general es de 132,000 Kg, que representaría un ahorro de 7128€/mes. Lo que hace concluir que esta experiencia ha representado todo un éxito para la empresa, puesto que le permite competir con otros productos en coste.

A continuación se presentarán las conclusiones que se han alcanzado mediante el uso de las diferentes herramientas propuestas.

Capítulo 7

Conclusiones

Las conclusiones a las que se llegan se van a dividir en dos bloques. Por un lado las conclusiones generales a las que se ha llegado mediante el uso de las herramientas estadísticas, y por otro las conclusiones particulares alcanzadas en cada una de las experiencias llevadas a cabo.

En cuanto a las conclusiones generales, la principal conclusión a la que se ha llegado es que el uso sistemático de las técnicas estadísticas recomendadas aporta herramientas que facilitan la toma de decisiones y el ahorro de tiempos y costes. Esto se traduce en el aumento del control y aseguramiento de la calidad, el establecimiento de sistemas para actuar sobre el proceso en base a datos, y en resumen en la mejora del producto y del proceso de producción. Se ha conseguido:

- Que personas no especialistas en el uso de técnicas estadísticas avanzadas se interesen por ellas y conozcan los beneficios de sus aplicaciones.
- Que se aborden problemas reales, solucionándolos conjugando la experiencia sobre el proceso y los resultados proporcionados por la aplicación de los métodos estadísticos.
- La mejora de los métodos para obtener datos sobre los sistemas que se intentan controlar.

- La sistematización de los procesos de control y mejora.
- Un aumento de la fidelidad de los clientes y los proveedores debido a las mejoras conseguidas en los productos.

En cuanto a las conclusiones que se llegan en cada una de las aplicaciones propuestas obtenemos los siguientes resultados. Para el caso de la aplicación del análisis sensorial a proceso de producción se concluye que mediante esta aplicación se consigue:

- Reducir la variabilidad del producto y mejorar el proceso.
- Sistematizar los procesos de control sensorial y homogenizar la respuesta.
- Dominar la producción sabiendo reaccionar en el corto plazo a desviaciones del proceso.
- Acortar los periodos de aprendizaje de los operarios.
- Dejar de depender de la experiencia de unos pocos.
- Perfeccionar el sistema de control de la calidad del producto.

En definitiva se consigue un producto cuya calidad sensorial pueda ser el valor añadido necesario para poder competir en el mercado global.

Las conclusiones a las que se llega mediante el desarrollo de la metodología, basada en la aplicación del diseño de experimentos, ha permitido:

- Obtener las condiciones óptimas de la mezcla según al sector al que va dirigido el producto final.
 - Reducir el coste de producción del producto al reducir el uso de las fibras más caras.
 - Determinar las condiciones que permiten maximizar la producción en cuanto a número de piezas fabricadas diariamente.
 - Optimizar la gestión de compra consiguiendo fibras con excelentes prestaciones y buenos precios.
-

-
- Mejorar los métodos de ensayo, sistematizando las operaciones.

Se consigue la mejora del rendimiento del producto y el proceso consiguiendo un producto que puede competir de igual a igual con productos que se están utilizando en el mercado.

En definitiva con la aplicación de las propuestas realizadas han aportado beneficios que de otra manera hubieran sido inimaginables conseguir.

Capítulo 8

Futuras líneas de Investigación

La tesis que se presenta abre las puertas a varias línea de investigación encaminadas a la aplicación de técnicas estadísticas a problemas del sector textil. En estos momentos delicados para el sector, se hace necesaria la interdisciplinariedad y que se sepa conjugar las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, en cuanto a investigación y desarrollo, con las aportaciones que se pueden hacer desde la Universidad. Por eso y según las necesidades que se han podido detectar, se sugieren como posibles aplicaciones que podrían ser desarrolladas las siguientes:

- Indagar en la posible aplicación en nuevos diseños de experimentos como base para una correcta experimentación.
- Aportar técnicas de análisis multivariante que permitan el análisis de datos para el control y la sistematización de procesos complejos.
- Implantar sistemas de control on-line de la calidad mediante gráficos de control.
- Instruir a grupos de expertos capaces de realizar descripciones

sensoriales sobre productos que dependan de este tipo de características para definir su calidad.

- Aplicar diseños de experimentos para la investigación en nuevas materias y en diferentes aplicaciones.
 - Realizar controles sensoriales a productos cuya calidad depende de esto.
-

Apéndice A

Coeficientes de los modelos de regresión del PLS2

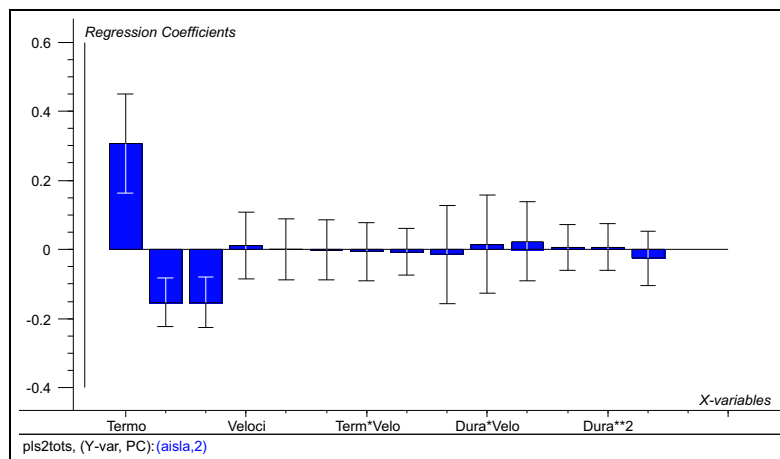


Figura A.1: Coeficientes de regresión aislamiento.

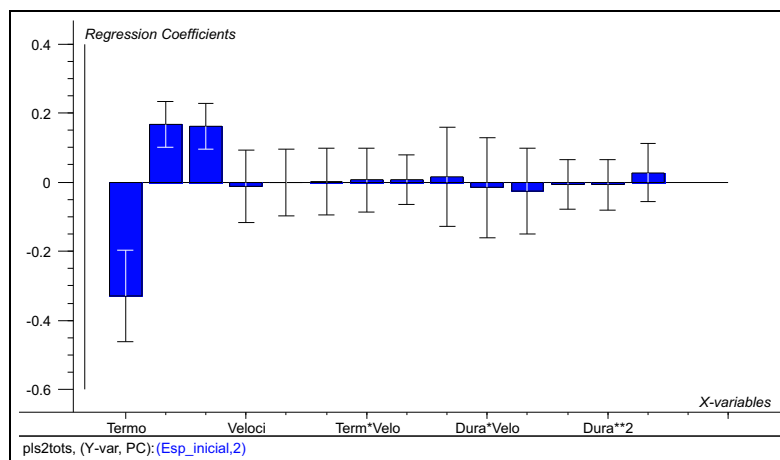


Figura A.2: Coeficientes de regresión espesor inicial.

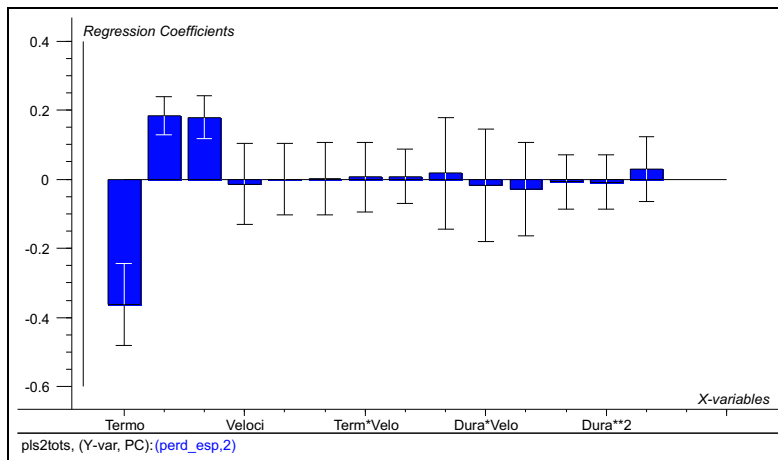


Figura A.3: Coeficientes de regresión pérdida de espesor (UNE 53170:2002).

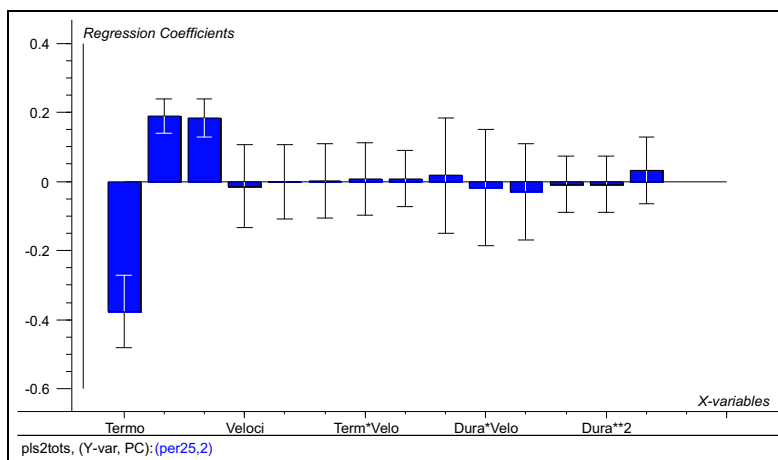


Figura A.4: Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).

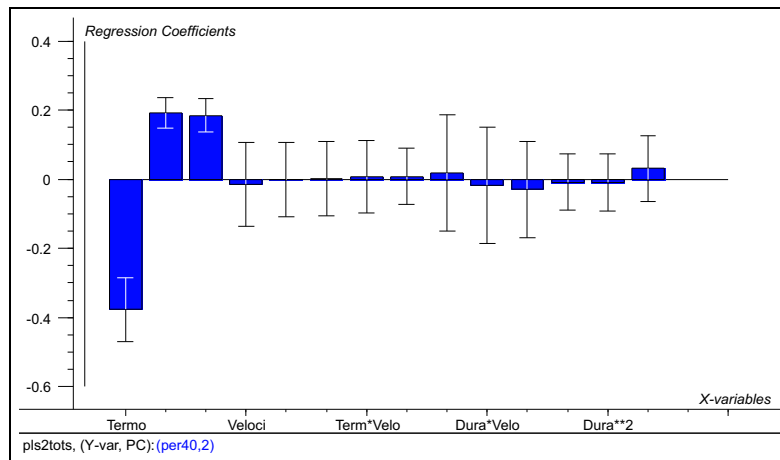


Figura A.5: Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 40% (UNE 53170:2002).

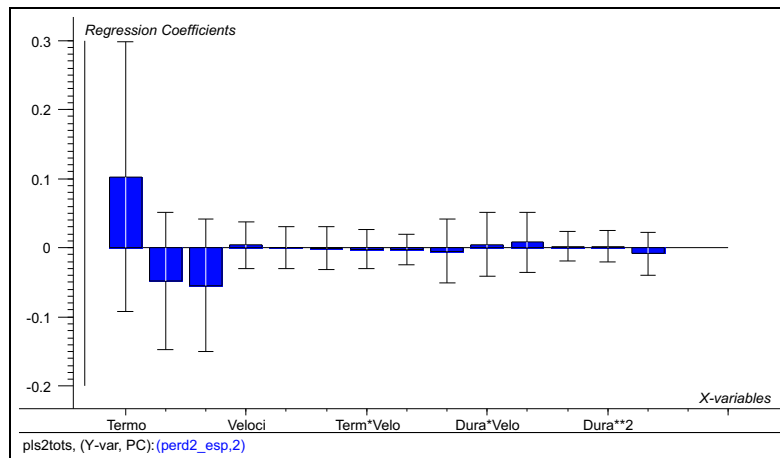


Figura A.6: Coeficientes de regresión pérdida de espesor (UNE 11012:1989).

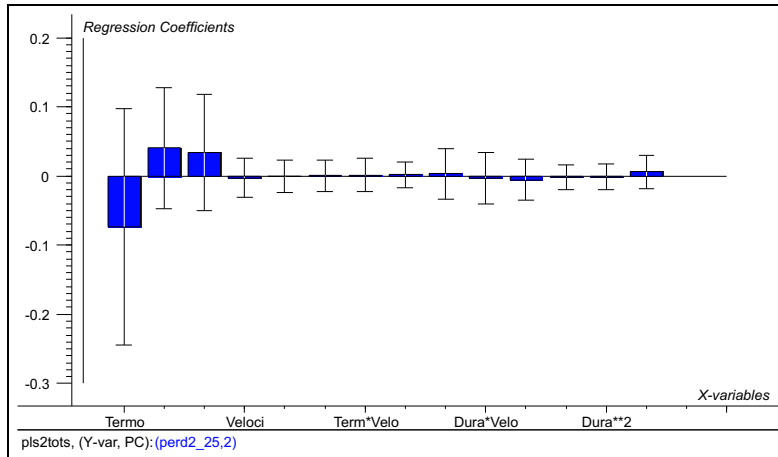


Figura A.7: Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 25 % (UNE 11012:1989).

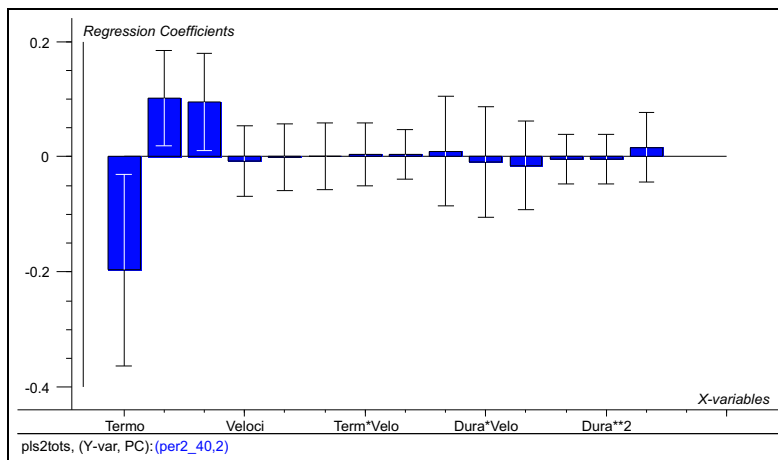


Figura A.8: Coeficientes de regresión pérdida de dureza al 40 % (UNE 11012:1989).

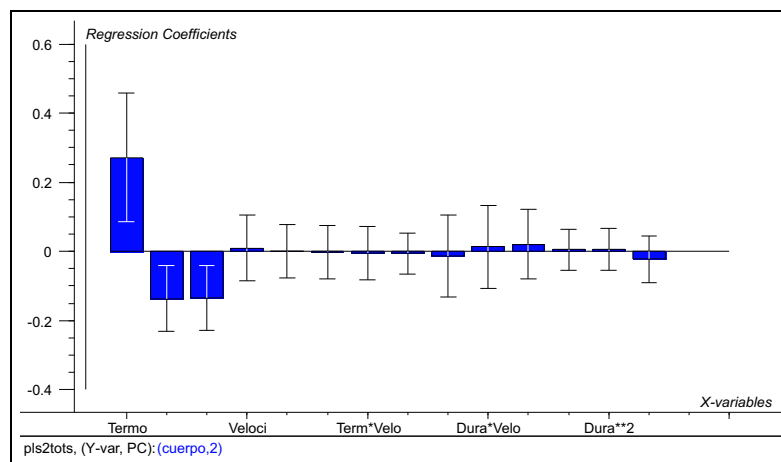


Figura A.9: Coeficientes de regresión cuerpo.

Apéndice B

Bondad de ajuste de los modelos de regresión PLS2 (parte 1)

APÉNDICE B. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PLS2 (PARTE 1)

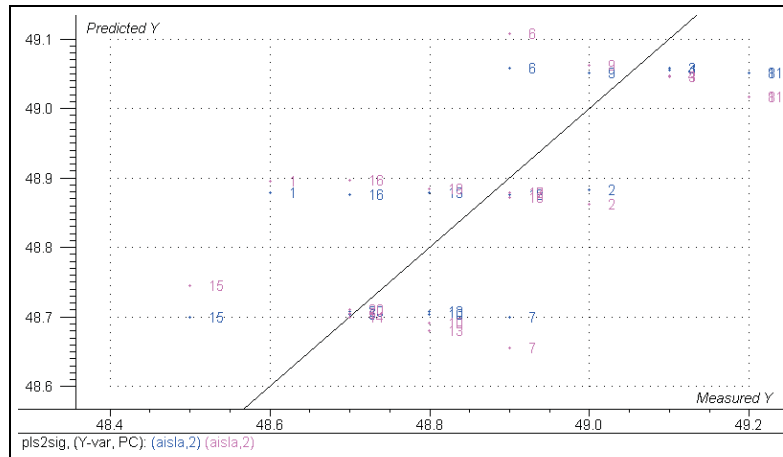


Figura B.1: Valores observados frente a predichos aislamiento(Y_2).

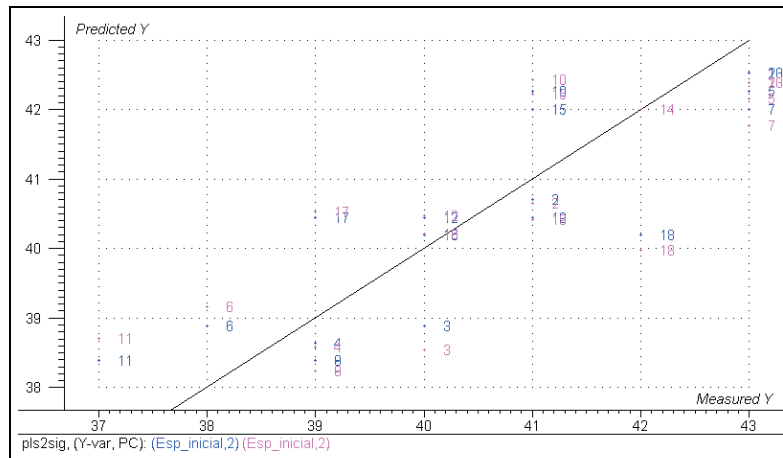


Figura B.2: Valores observados frente a predichos espesor inicial(Y_3).

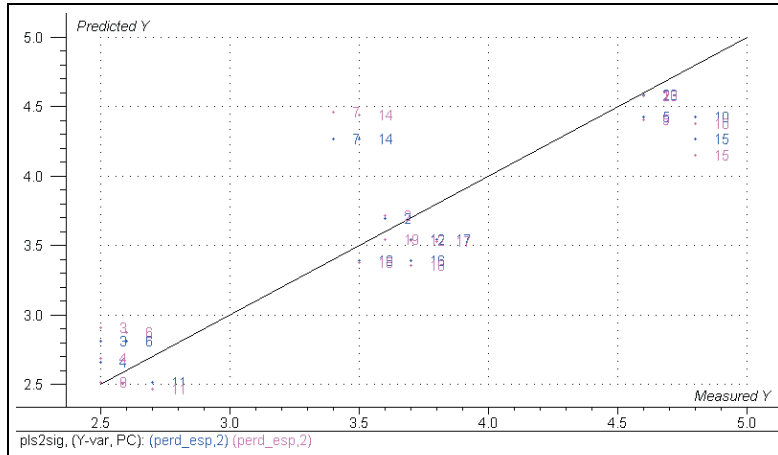


Figura B.3: Valores observados frente a predichos perdida de espesor (UNE 53170:2002)(Y_4).

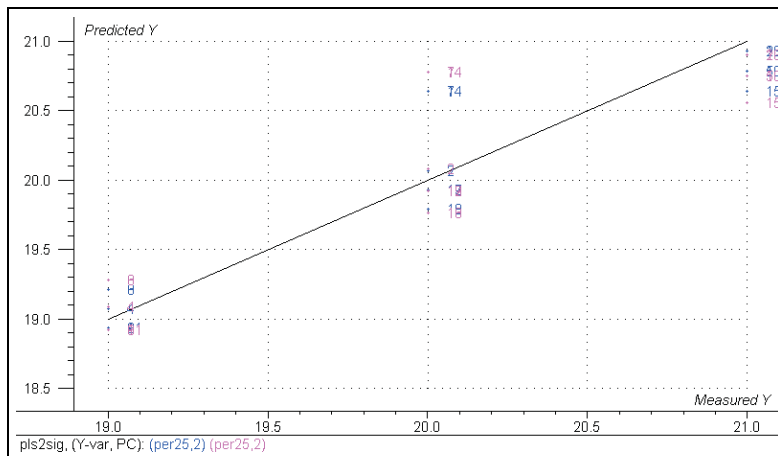


Figura B.4: Valores observados frente a predichos perdida de espesor al 25 % (UNE 53170:2002)(Y_5).

APÉNDICE B. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE
REGRESIÓN PLS2 (PARTE 1)

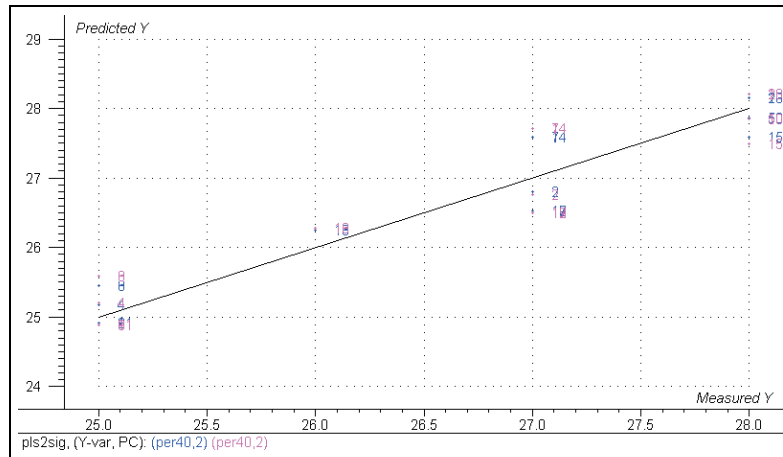


Figura B.5: Valores observados frente a predichos pérdida de espesor al 40 % (UNE 53170:2002)(Y_6).

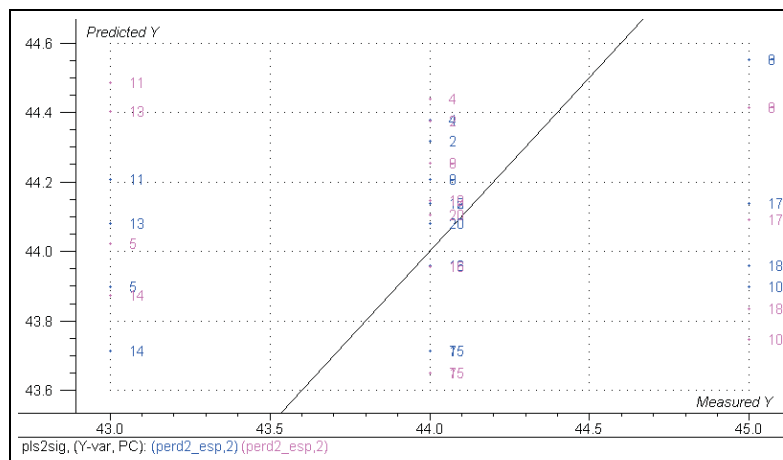


Figura B.6: Valores observados frente a predichos pérdida de espesor (UNE 11012:1989)(Y_7).

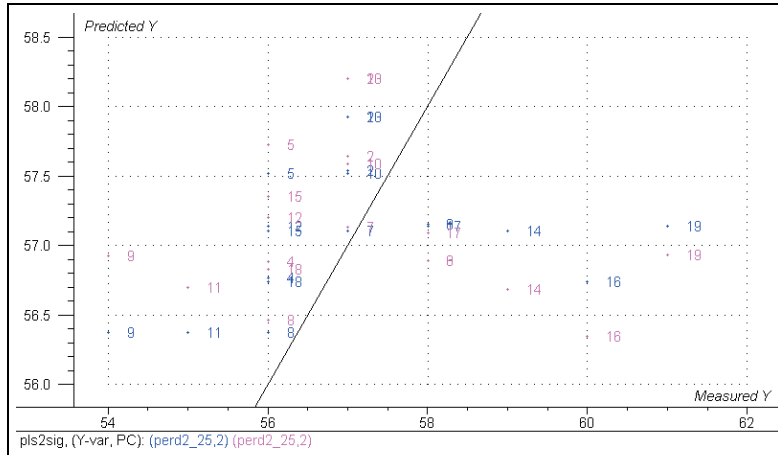


Figura B.7: Valores observados frente a predichos pérdida de espesor al 25 % (UNE 11012:1989)(Y_8).

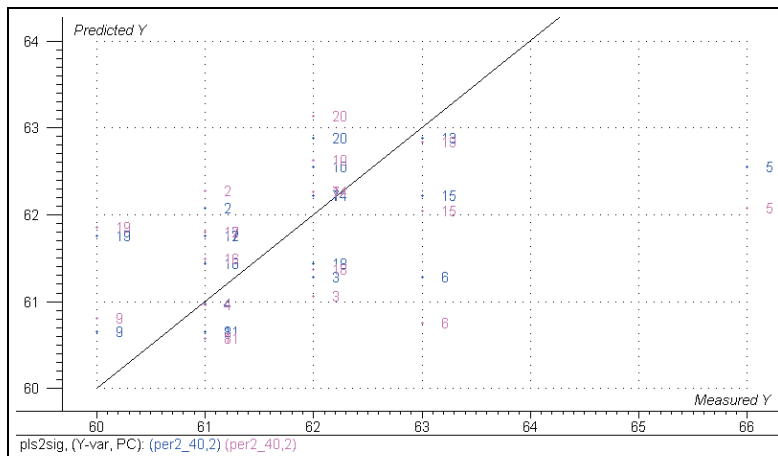


Figura B.8: Valores observados frente a predichos pérdida de espesor al 40 % (UNE 11012:1989)(Y_9).

APÉNDICE B. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE
REGRESIÓN PLS2 (PARTE 1)

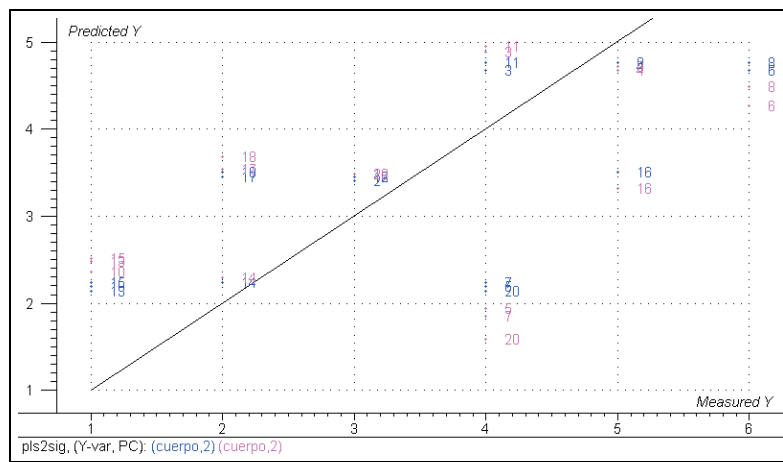


Figura B.9: Valores observados frente a predichos cuerpo(Y_{10}).

Apéndice C

Bondad de ajuste de los modelos de regresión PLS2 (parte 2)

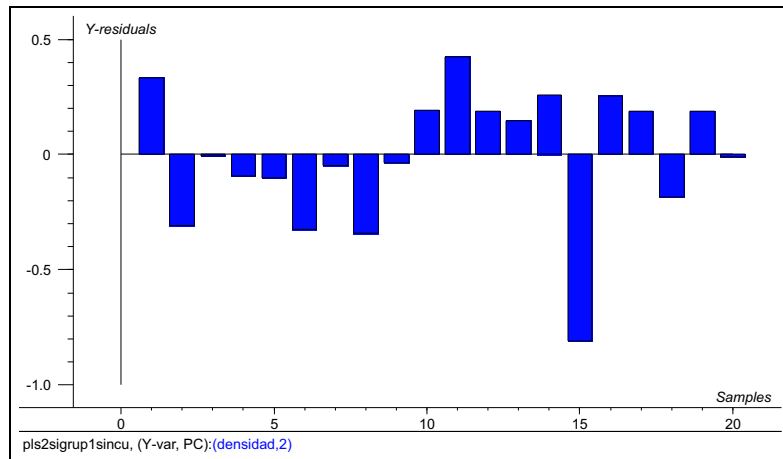


Figura C.1: Valores residuales densidad(Y_1).

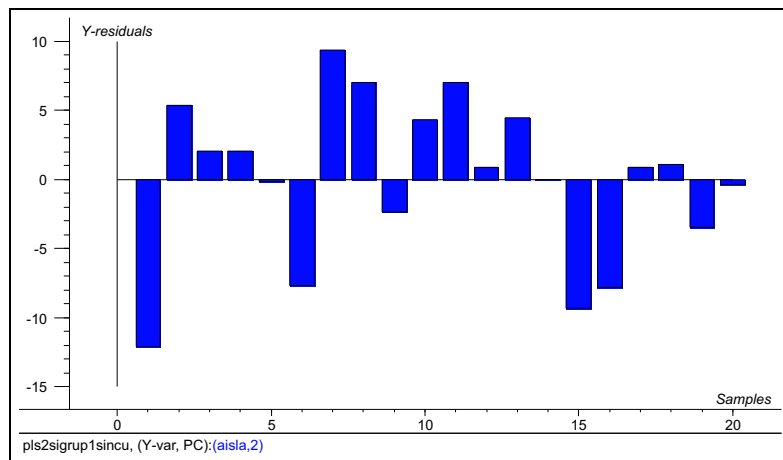


Figura C.2: Valores residuales aislamiento(Y_2).

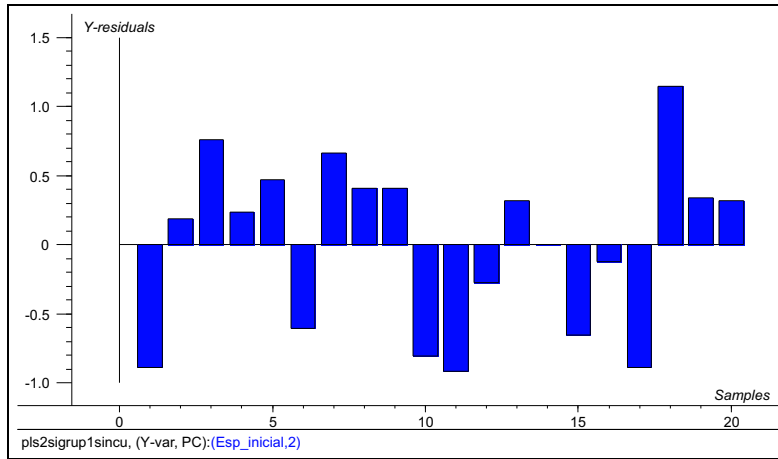


Figura C.3: Valores residuales espesor inicial(Y_3).

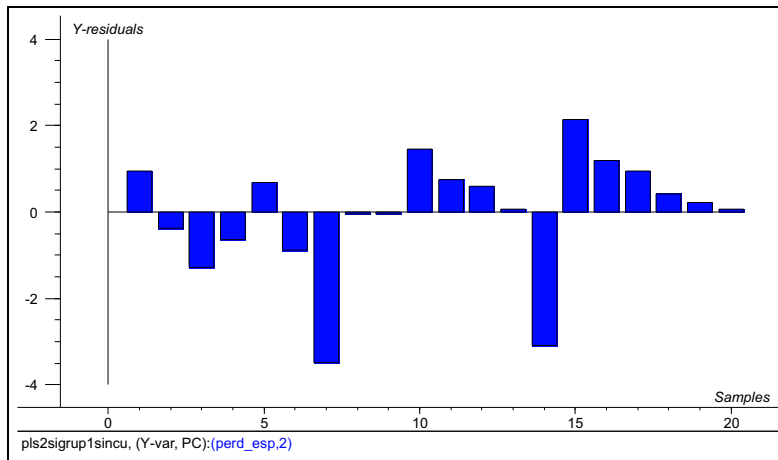


Figura C.4: Valores residuales perdida de espesor(Y_4).

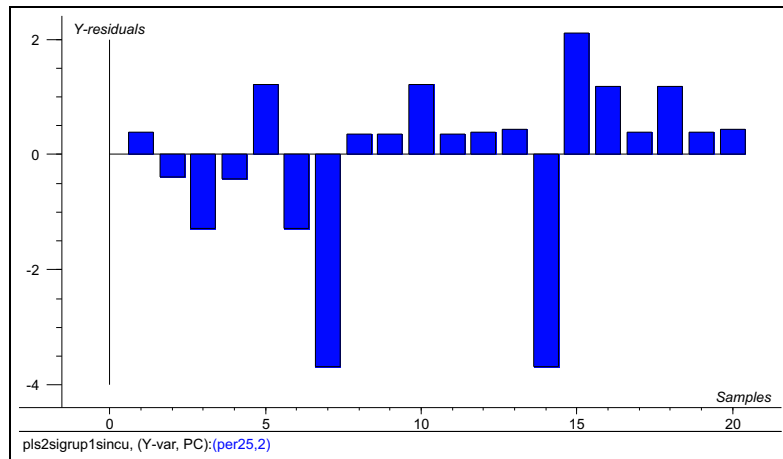


Figura C.5: Valores residuales perdida al 25% (Y_5).

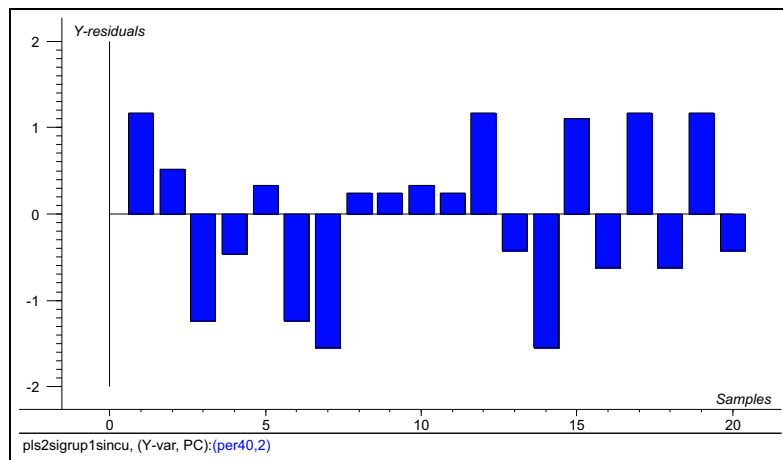


Figura C.6: Valores residuales perdida al 40% (Y_6).

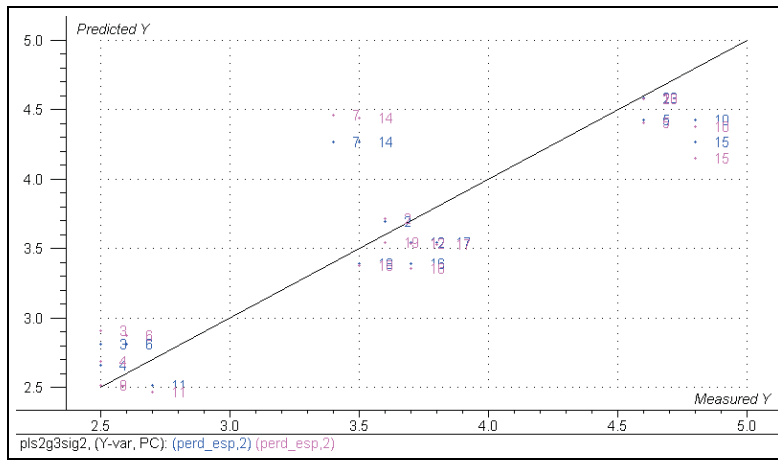


Figura C.7: Valores predichos frente a observados para pérdida de espesor.

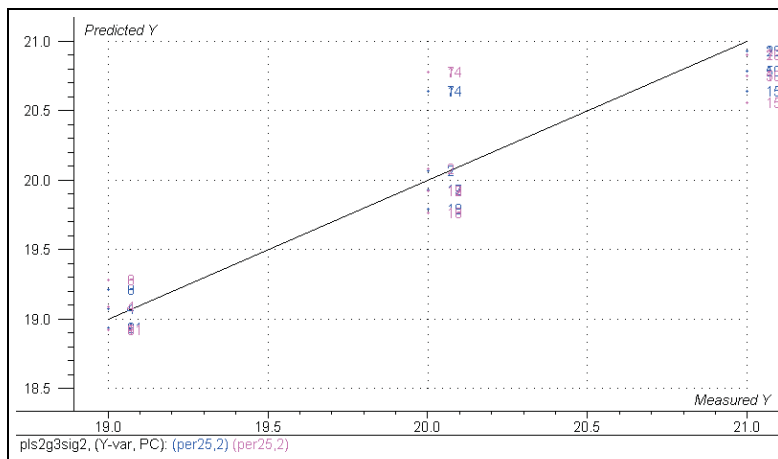


Figura C.8: Valores predichos frente a observados para pérdida de dureza al 25%.

APÉNDICE C. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE
REGRESIÓN PLS2 (PARTE 2)

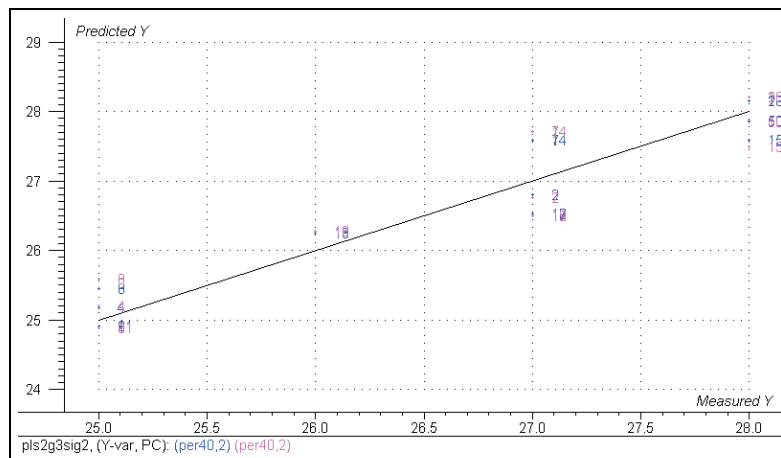


Figura C.9: Valores predichos frente a observados para pérdida de dureza al 40 %.

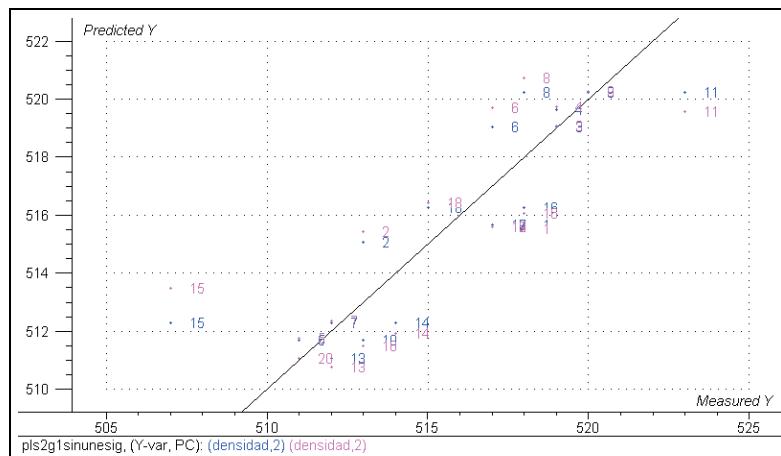


Figura C.10: Valores predichos frente a observados para densidad.

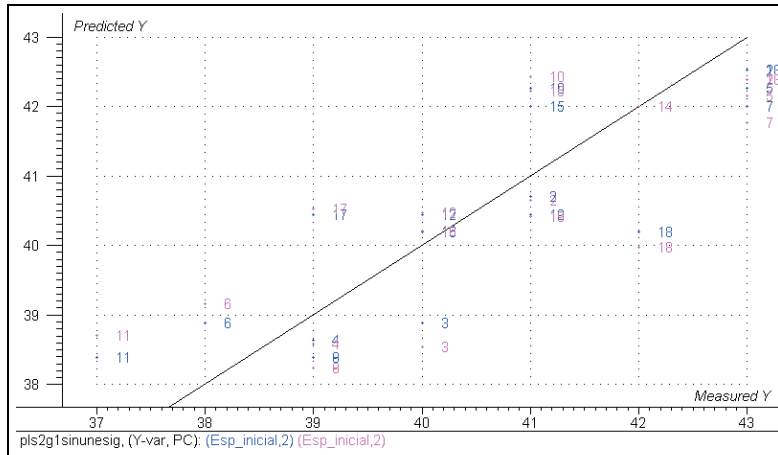


Figura C.11: Valores predichos frente a observados para espesor inicial.

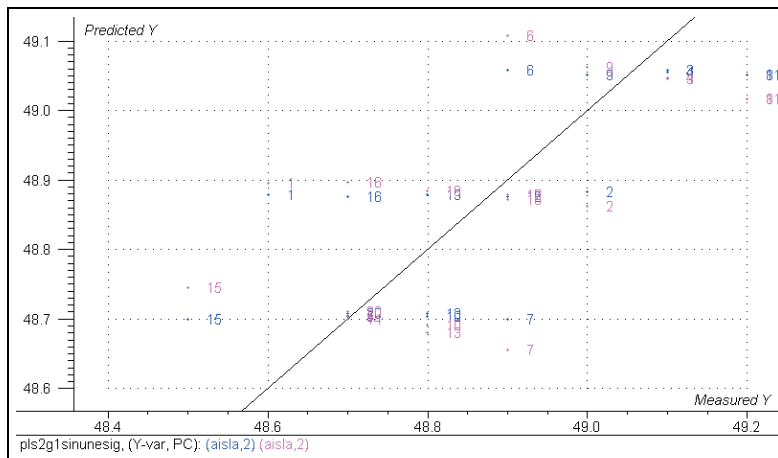


Figura C.12: Valores predichos frente a observados para aislamiento.

APÉNDICE C. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PLS2 (PARTE 2)

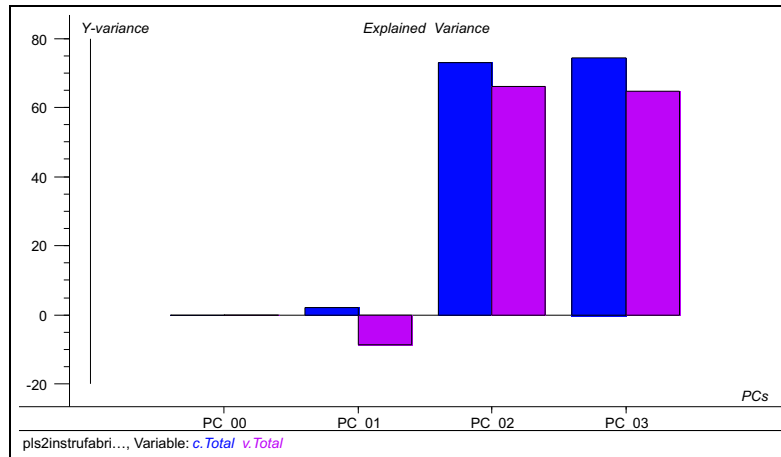


Figura C.13: Variabilidad explicada variables de fábrica.

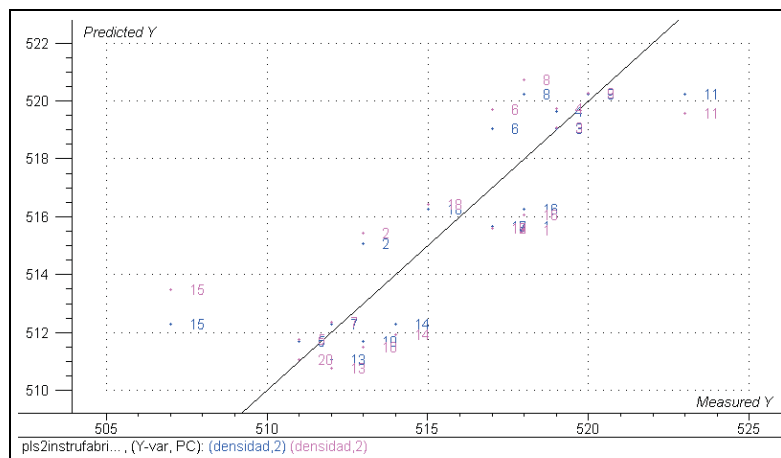


Figura C.14: Valores predichos para densidad (variables de fábrica).

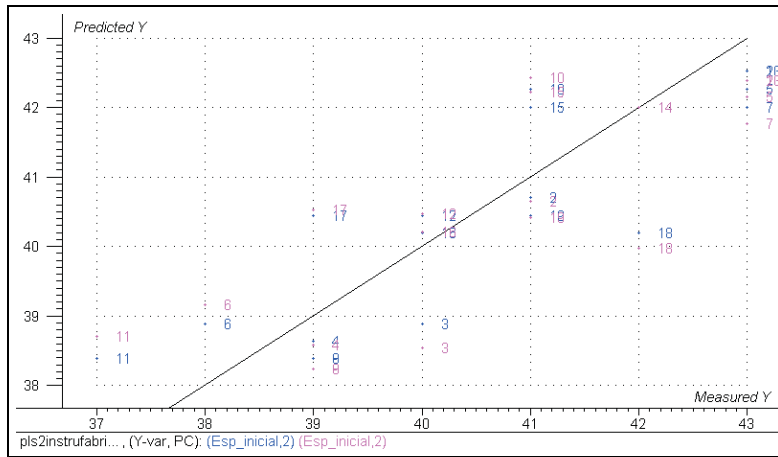


Figura C.15: Valores predichos para espesor inicial (variables de fábrica).

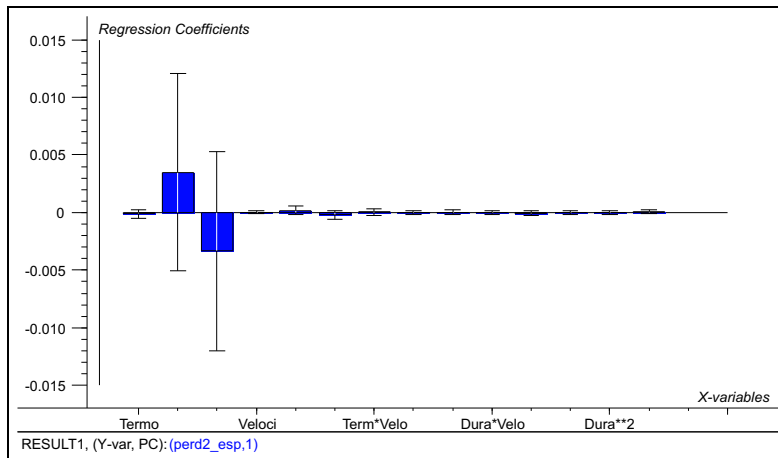


Figura C.16: Coeficientes de regresión grupo 2.

*APÉNDICE C. BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS DE
REGRESIÓN PLS2 (PARTE 2)*

Apéndice D

Modelos de regresión

PLS1(parte 1)



Figura D.1: Representación conjunta X y densidad.

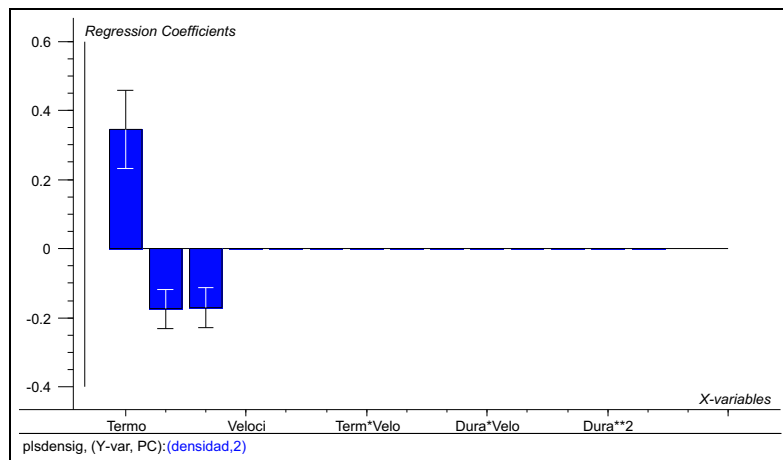


Figura D.2: Coeficientes de Regresión para densidad.

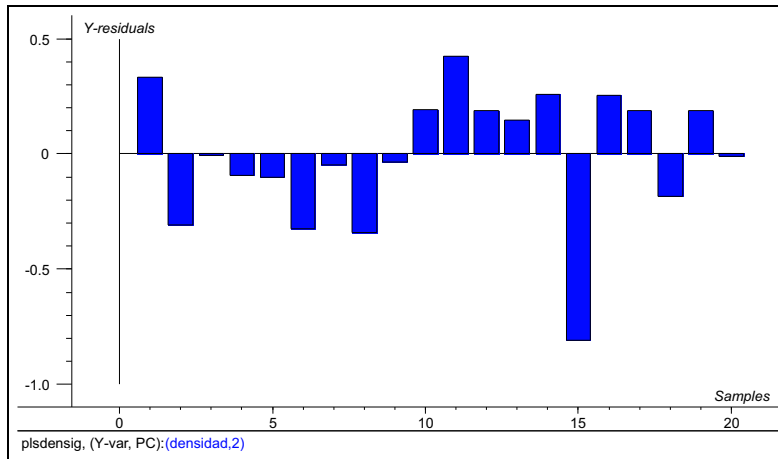


Figura D.3: Residuos de los valores predichos para densidad.

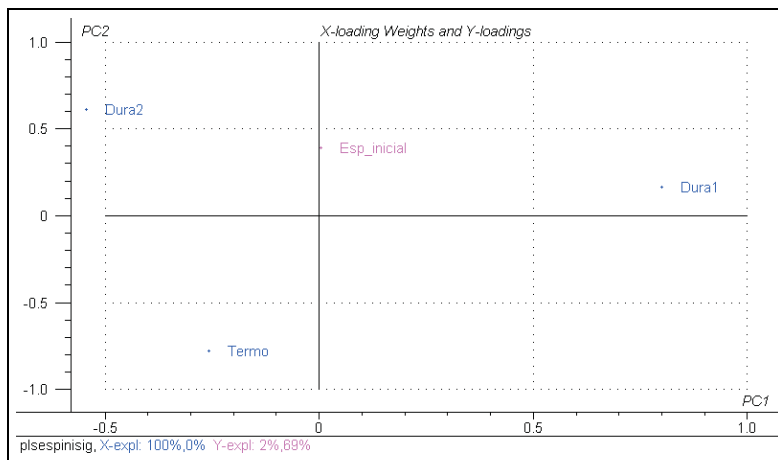


Figura D.4: Representación conjunta X y espesor inicial.

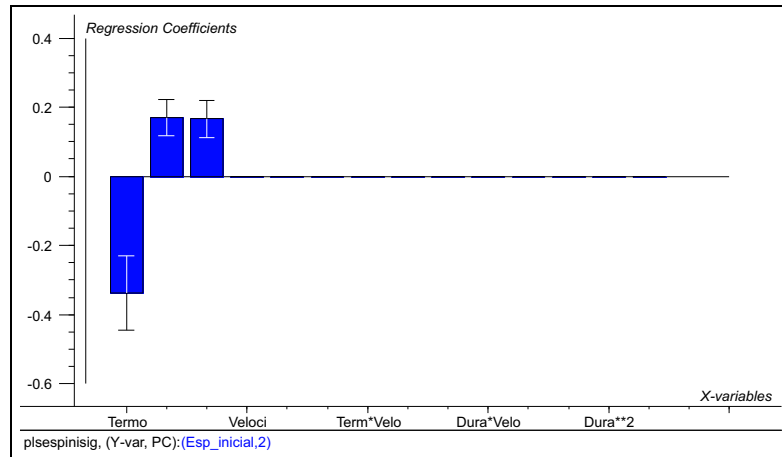


Figura D.5: Coeficientes de Regresión para espesor inicial.

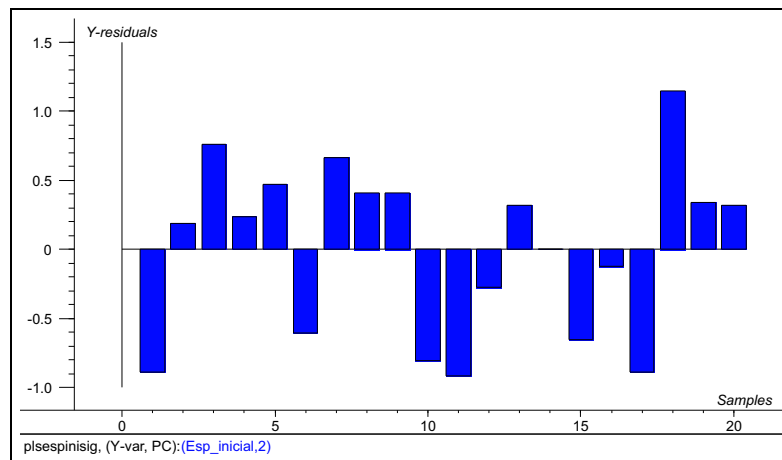


Figura D.6: Residuos de los valores predichos para espesor inicial.

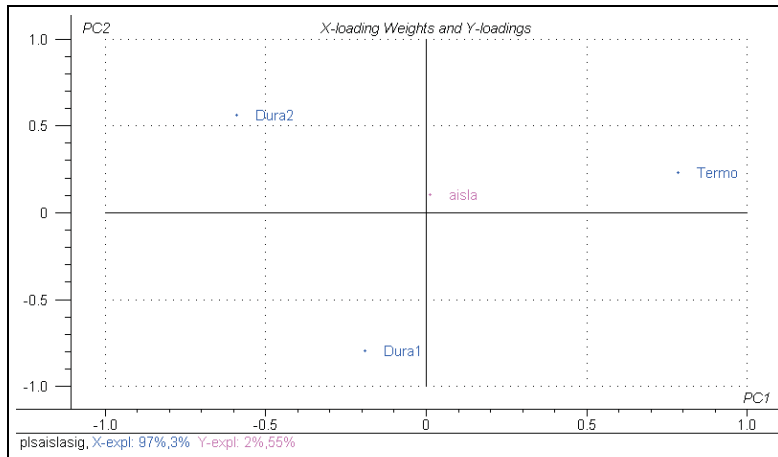


Figura D.7: Representación conjunta X y aislamiento.

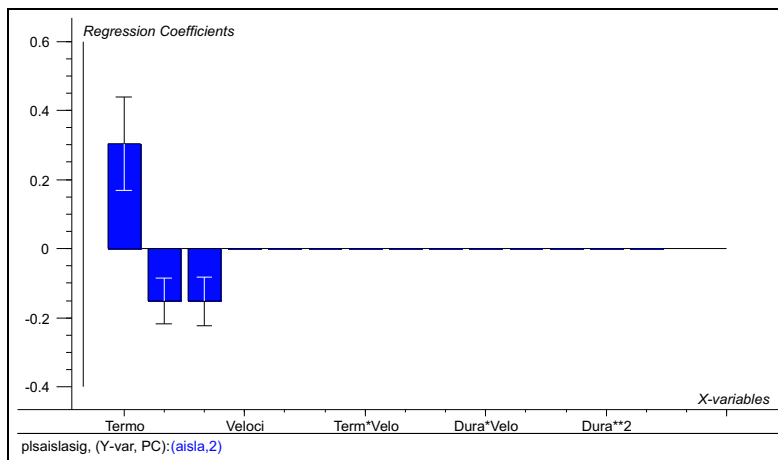


Figura D.8: Coeficientes de Regresión para aislamiento.

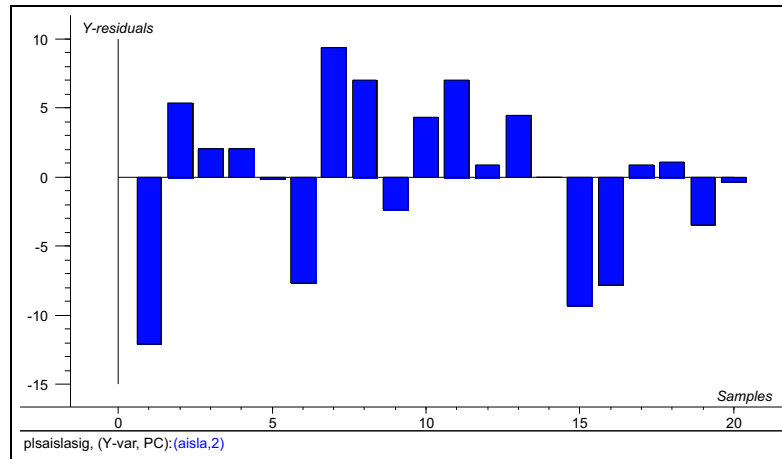


Figura D.9: Residuos de los valores predichos para aislamiento.

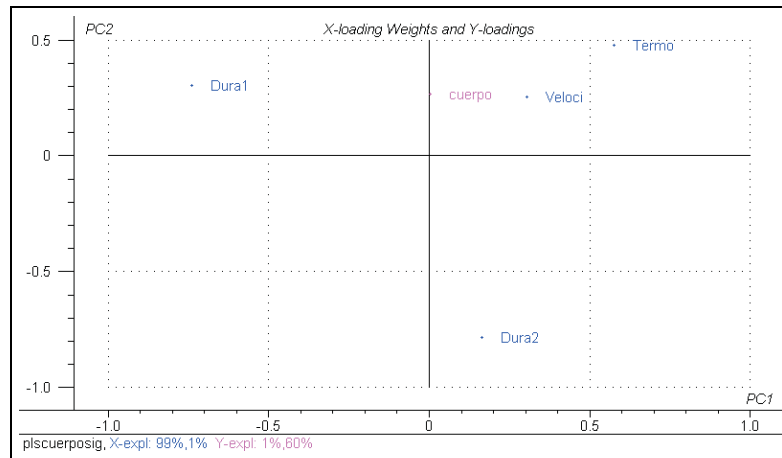


Figura D.10: Representación conjunta X y cuerpo.

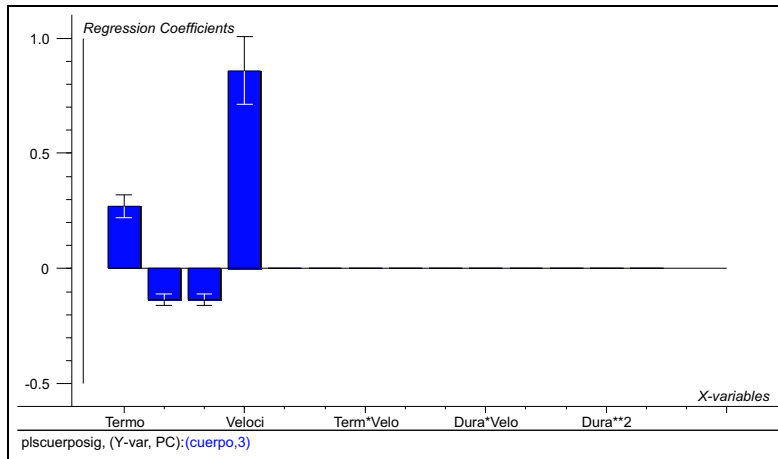


Figura D.11: Coeficientes de Regresión para cuerpo.

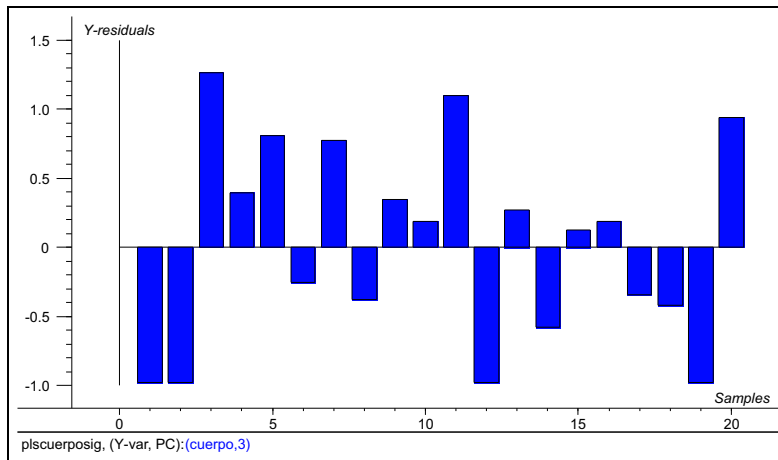


Figura D.12: Residuos de los valores predichos para cuerpo.

Apéndice E

Modelos de regresión

PLS1(parte 2)



Figura E.1: Representación conjunta X y pérdida de espesor (UNE 53170:2002).

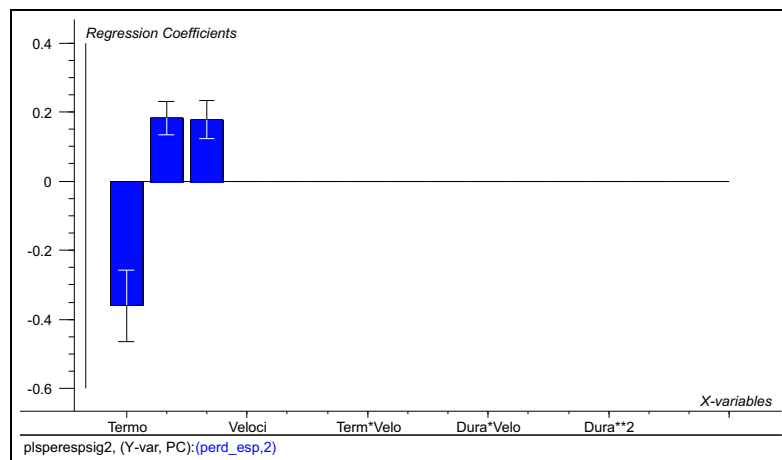


Figura E.2: Coeficientes de Regresión para pérdida de espesor (UNE 53170:2002).

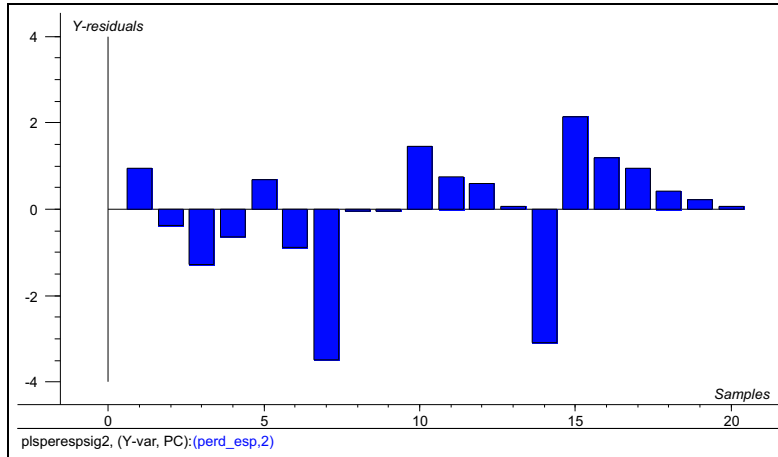


Figura E.3: Residuos de los valores predichos para pérdida de espesor (UNE 53170:2002).

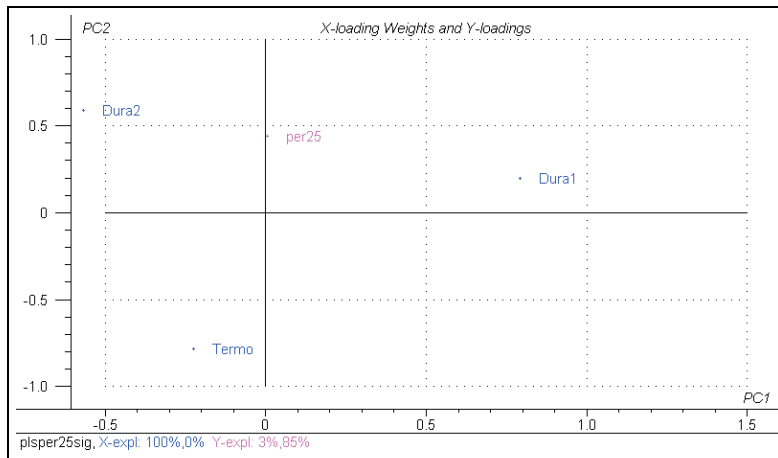


Figura E.4: Representación conjunta X y pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).

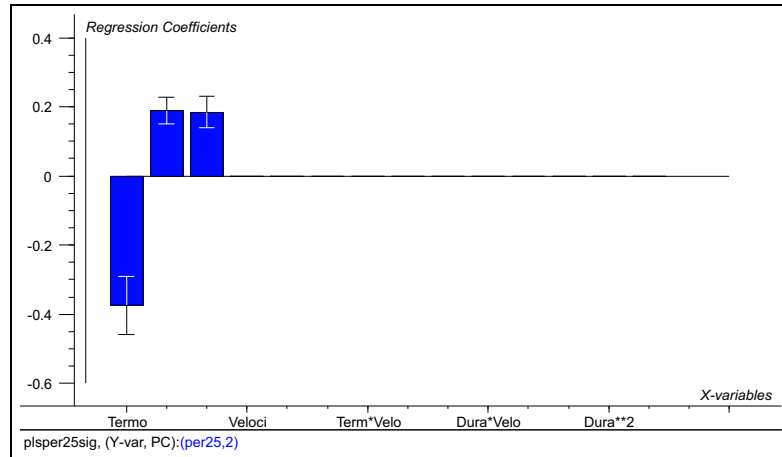


Figura E.5: Coeficientes de Regresión para pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).

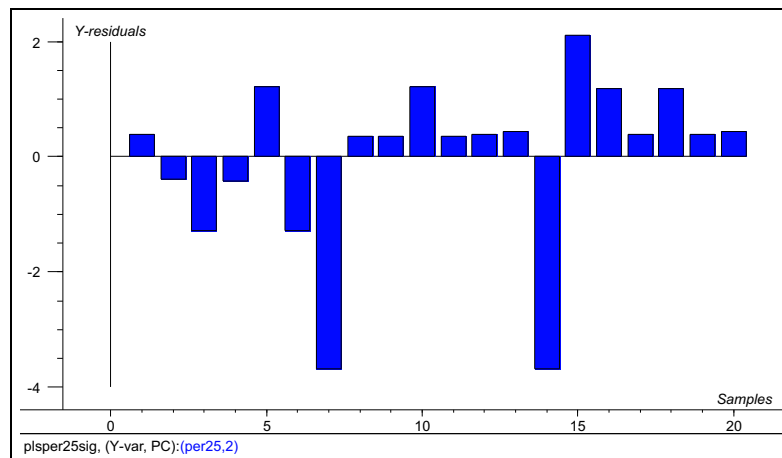


Figura E.6: Residuos de los valores predichos para pérdida de dureza al 25 % (UNE 53170:2002).

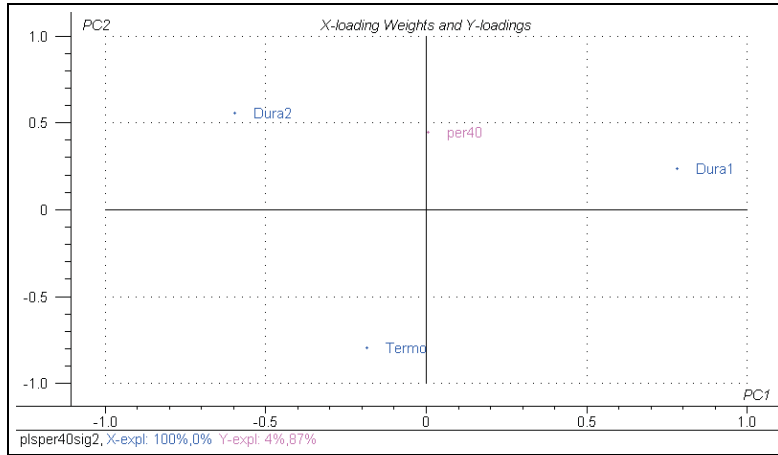


Figura E.7: Representación conjunta X y pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).

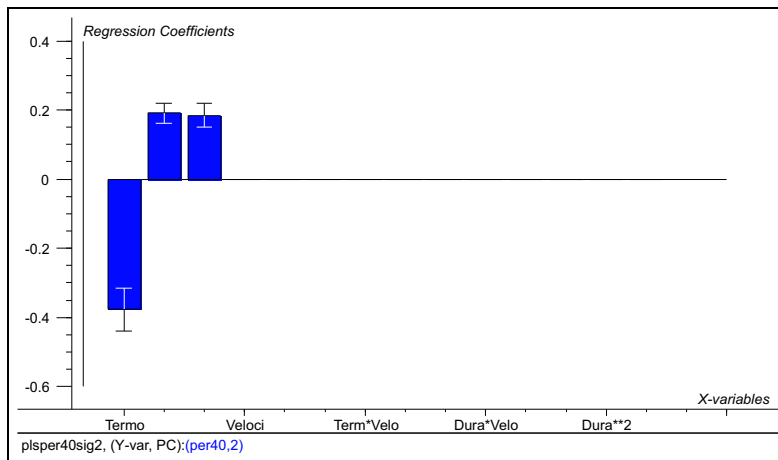


Figura E.8: Coeficientes de Regresión para pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).

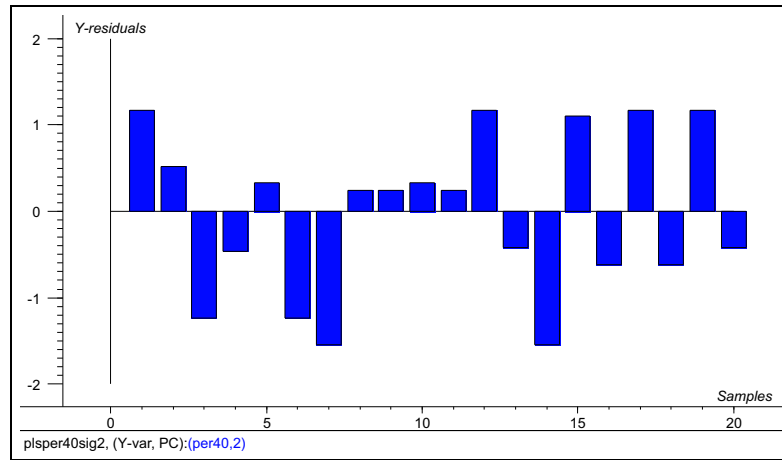


Figura E.9: Residuos de los valores predichos para pérdida de dureza al 40 % (UNE 53170:2002).

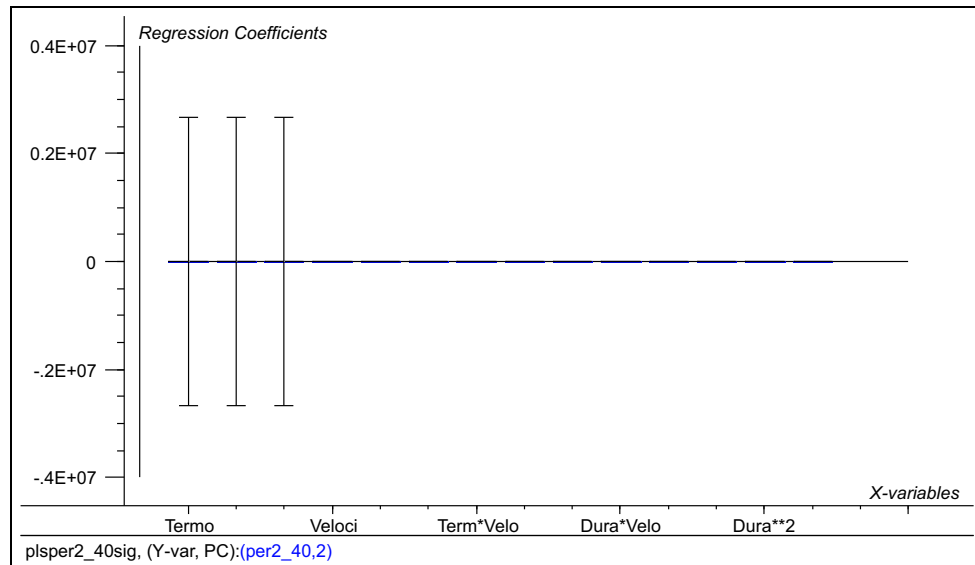


Figura E.10: Coeficientes de pérdida de dureza al 40 % en UNE 11012:1989.

Apéndice F

Resultados de la función de deseabilidad

APÉNDICE F. RESULTADOS DE LA FUNCIÓN DE DESEABILIDAD

Sector Mueble	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.94
Espesor inicial	0.17
Pérdida de espesor	0.16
Pérdida de dureza al 25 %	0.17
Pérdida de dureza al 40 %	0.24
Cuerpo	0.76
Coste	0.74
TOTAL	0.87

Tabla F.1: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector mueble

Sector Colchón	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.52
Espesor inicial	0.03
Pérdida de espesor	0.30
Pérdida de dureza al 25 %	0.34
Pérdida de dureza al 40 %	0.46
Cuerpo	0.67
Coste	0.80
TOTAL	0.87

Tabla F.2: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector colchón

Sector Automoción	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.99
Espesor inicial	0.1
Pérdida de espesor	0.1
Pérdida de dureza al 25 %	0.1
Pérdida de dureza al 40 %	0.1
Cuerpo	0.93
Coste	0.83
TOTAL	0.81

Tabla F.3: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector automoción

Sector Jugete	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.97
Espesor inicial	0.24
Pérdida de espesor	0.14
Pérdida de dureza al 25 %	0.15
Pérdida de dureza al 40 %	0.21
Cuerpo	0.87
Coste	0.83
TOTAL	0.89

Tabla F.4: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector juguete

APÉNDICE F. RESULTADOS DE LA FUNCIÓN DE DESEABILIDAD

Sector Construcción	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.99
Espesor inicial	0.58
Pérdida de espesor	0.53
Pérdida de dureza al 25 %	0.55
Pérdida de dureza al 40 %	0.60
Cuerpo	0.76
Coste	0.26
TOTAL	0.92

Tabla F.5: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector construcción

Sector Higiene	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.98
Espesor inicial	0.18
Pérdida de espesor	0.16
Pérdida de dureza al 25 %	0.17
Pérdida de dureza al 40 %	0.23
Cuerpo	0.26
Coste	0.74
TOTAL	0.85

Tabla F.6: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector higiene

Sector Climatización	
Variable	Deseabilidad
Densidad	0.99
Espesor inicial	0.59
Pérdida de espesor	0.53
Pérdida de dureza al 25 %	0.54
Pérdida de dureza al 40 %	0.71
Cuerpo	0.78
Coste	0.83
TOTAL	0.96

Tabla F.7: Valores de la función de deseabilidad de las condiciones óptimas de fabricación en el sector climatización

APÉNDICE F. RESULTADOS DE LA FUNCIÓN DE DESEABILIDAD

Bibliografía

- [1] Asociación Española de Calidad (AEC). Catalogo de Anomalias Generadas en Procesos Textiles. Madrid, 2003.
- [2] Barella A. El control de calidad en el tisaje. Publicaciones de Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 1959.
- [3] Barella A. Estadística de la fatiga de los materiales textiles. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1966.
- [4] Barella A. Estadística aplicada. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1969.
- [5] Barella A. Principios de diseño de experiencias y optimización de procesos industriales. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1977.
- [6] Barella A. Industria Textil: del control de la calidad a la fiabilidad. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1986.
- [7] BP X 10-040 (2003) *Référentiel de bonnes pratiques. Caractérisation sensorielle des matériaux. Méthodologie générale.* Association Française de Normalisation AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex.

- [8] BP X 10-041 (2004) *Référentiel de bonnes pratiques. Caractérisation sensorielle des matériaux. Recommandations pratiques pour l'analyse tactile de la matière première au produit fini*. Association Française de Normalisation AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex.
- [9] Bona, M. *Metodi statistici per l'industria tessile*. Paravia Textilia, Torino, 1988.
- [10] Campisi, B. Vojnovic, D. Chicco, D. Phan-Tan-Luu, R.(1999)*Melt granulation in a high shear mixer: optimization of mixture and process variable using a combined experimental design*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. **48**, 59-70.
- [11] Cascales, B. Lucas, P. Mira, J.M. Pallarés A. J. y Sacher-Pedreño, S. *El libro de LaTeX*. Pearson Educación S.A., Madrid, 2003.
- [12] Chardon, J. Nony, J. Sergent, M. Mathieu, D. Phan-Tan-Luu, R.(1989)*Experimental Research Methodology Applied to the Development of a Formulation for Use with Textiles*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. **6** 313-321.
- [13] Cascales, B. Lucas, P. Mira, J.M. Pallarés A. J. y Sacher-Pedreño, S. *LaTeX una imprenta en sus manos*. Aula Documental de Investigación, Madrid, 2000.
- [14] Coleman, D. E. and Montgomery D.C.(1985)*A Systematic Approach to Planning for a Designs Industrial Experiment*. Technometrics. **35**, 1-27.
- [15] Comisión de las comunidades Europeas. *El futuro del sector textil y de la confección en la Unión Europea ampliada. Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento Europeo, al comité económico y social Europeo y al comite de las regiones*, Bruselas, 2003.
-

- [16] Cornell, J.A. Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data. ,2nd edition, John Wiley & Sons INC., New York, 1990.
- [17] Cornell, J. A.(1995)*Fitting Models to Data from Mixture Experiments Containing Order Factors*. Journal of Quality Technology. **27**,1, 13-33.
- [18] Cox, D. R.(1971)*A note on Polynomial Response Functions for Mixture*. Biometrika. **58**, 155-159.
- [19] Croiser, R. B.(1984)*Mixture Experiments: Geometry and Pseudo-Components*. Technometrics. **1**, 311-216.
- [20] De Boos, A. G. Tester D. H. The Fast Approach to Improved Fabric Performance. CSIRO, Division of Wool Technology. Australia, Textile Objective Measurement and Automation in Garment Manufacture, ed. George Stylios, Ellis Horwood, 1991.
- [21] Derringer, G. and Suich, R. (1980)*Simultaneous Optimization of Several Response Variables*. Journal of Quality Technology. **12**, 214-219.
- [22] Detrell, J. Aplicaciones técnicas de los materiales textiles. Cuadernos de Tejidos de malla y Telas especiales, Cátedra de Técnica Textil (TECNITEX), Terrassa, Barcelona 1996.
- [23] Detrell, J. Introducción a las Telas No Tejidas. Cuadernos de Tejidos de malla y Telas especiales, Cátedra de Técnica Textil (TECNITEX), Terrassa, Barcelona 1996.
- [24] Dobner, R. (1989)*Chances and limitations of automation in the apparel industry*. Readywear 2/89. **101**, 35-38.
- [25] Ford Motor Company (2000) *BO 131-01: Determination and assessment of odor from interior trim materials/components/assemblies*. Ford Global Technologies, Inc.

- [26] Geladi, P. (1988) *Notes on the history and the nature of partial least squares (PLS) modelling*. Journal of Chemometrics. **2**, 231-246.
- [27] Geladi, P. and Kowalski, B. (1986) *Partial least-squares regression: a tutorial*. Analytica Chimica Acta. **185**, 1-32.
- [28] Graell Deniel, G. (2003) *Nuevas oportunidades: los textiles técnicos*. Boletín Económico de ICE. **2768**, 85-90.
- [29] Kawabata, S. *The Standardisation and Analysis of Hand Evaluation (2nd Edition)*. Textile Society of Japan, Osaka, Japan 1980.
- [30] Leaf, G.A.V. *Practical Statistics for the Textile Industry*. The Textile Institute, Manchester, UK 1984.
- [31] Martens, H. and Martens, M. *Modified Jack-knife Estimation of parameter Uncertainty in Bilinear Modeling (PLSR)*. Food Quality and Preference, 1999.
- [32] Martens, H. and Martens, M. *Multivariate Analysis of Quality*. Baffin Lane, Chinchester, John Wiley & Sons Ltd, 2001.
- [33] McLean, R. A., and Anderson, V. L. (1966) *Extreme Vertices Design of Mixture Experiments*. Technometrics. **8**, 447-454.
- [34] Montgomery, D.C. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons., New York 1991.
- [35] Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, T. *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press, Boca Raton, Florida 1999.
- [36] Nelson, P.P.C., Taylor, P. A., and Macgregor, J. F. (1993) *Missing data methods in PCA and PLS: Score calculations with incomplete observations*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. **35**,45-65.
- [37] Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (O.N.U.D.I.) *Control de Calidad en la Industria Textil (Tomo I y II.)*
-

-
- Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1972.
- [38] Piepel, G. F. (1988) *Programs for Generating Extreme Vertices and Centroids of Linearly Constrained Experimental Regions*. Journal of Quality Technology. **20**, 125-139.
- [39] Piepel, G. F. and Cornell, J. A. (1994) *Mixture Experiments Approaches: Examples, Discussion, and Recommendations*. Journal of Quality Technology. **26**, 177-196.
- [40] Philippe, F. (2003) *Influence of the sterilisation process on the tactile feeling of surgical gowns*. International Journal of Clothing. **15**, 268-275.
- [41] Philippe, F. et al. (2001) *Développement d'une méthodologie d'analyse sensorielle tactile des textiles*. International Journal of Clothing. **15**, 268-275.
- [42] Philippe, F. Contribution à l'évaluation sensorielle tactile des produits textiles par analyse sensorielle. Thèse de Doctorat, Mulhouse 2002.
- [43] Postle, R. Fabric Objective Measurement. Textile Asia 1984.
- [44] Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. John Wiley & Sons INC., New York, 1995.
- [45] Recasens J.M. Aplicación práctica del Control de Calidad en el tisa-je. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1973.
- [46] Reklaitis, G. V., Ravindran, A., and Ragsdell, K. M. Engineering optimization. John Wiley & Sons INC., New York, 1983.
- [47] RENAULT (1998) *D49 1977: Matériaux fibreux et alvéolaires absorption acoustique en champs diffus*. Normalisation Renault Automobiles.
-

- [48] Scheffé, H. (1958) *Experiments with mixtures*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B. **20**, 344-360.
- [49] Scheffé, H. (1965) *The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures*. Journal of the Royal Statistical Society, Series B. **25**, 235-263.
- [50] Stone, H. and Sidel, J. L. *Sensory Evaluation Practices*. Academic Press Inc., San Diego, California 1992.
- [51] UNE 87001 (1994) *Análisis sensorial. Vocabulario (ISO 5492:1992)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [52] UNE 87004 (1979) *Análisis sensorial. Guía para la instalación de una sala de cata*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [53] UNE 87005 (1992) *Análisis sensorial. Prueba de comparación por parejas (ISO 5495:1983)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [54] UNE 87006 (1992) *Análisis sensorial. Metodología. Prueba triangular (ISO 4120:1983)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [55] UNE 87008 (1992) *Análisis sensorial de alimentos. Metodología. Guía General (ISO 6658:1985)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [56] UNE 87010 (1993) *Análisis sensorial. Metodología. Prueba dúo-trío (ISO 10399:1991)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [57] UNE 87016 (1986) *Análisis sensorial. Metodología. Prueba 'A' - 'No A'*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
-

- [58] UNE 87017 (1992) *Análisis sensorial. Metodología. Método para establecer el perfil olfato-gustativo (ISO 6564:1985)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [59] UNE 87020 (1993) *Análisis sensorial. Metodología. Evaluación de los productos alimentarios por métodos que utilizan escalas (ISO 4121:1987)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [60] UNE 87021 (1992) *Análisis sensorial. Utensilios. Copa para la degustación de aceites*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [61] UNE 87022 (1992) *Análisis sensorial. Utensilios. Copa para la degustación de vino (ISO 3591:1977)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [62] UNE 87023 (1993) *Análisis sensorial. Metodología. Ensayo de clasificación por ordenación*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [63] UNE 87024-1 (1995) *Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 1: Catadores (ISO 8586-1:1993)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [64] UNE 87024-2 (1996) *Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y control de jueces. Parte 2: Expertos*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [65] UNE 87025 (1996) *Análisis sensorial. Metodología. Perfil de textura (ISO 1036:1994)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.

- [66] UNE 40110 (1994) *Análisis químico cuantitativo y análisis cuantitativo por separación manual para mezclas binarias de fibras*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [67] UNE 40210 (1973) *Método de muestreo para gran cantidad de lana en borra para determinar el diámetro de las fibras y/o su longitud*. Instituto Nacional de Racionalización y Normalización IRANOR, Madrid.
- [68] UNE 40388 (1983) *Materiales textiles. Esquema morfológico. Terminología y definiciones*. Instituto Español de Normalización IRANOR, Madrid.
- [69] UNE 40498 (1984) *Muestreo en ensayos textiles. Definición de los parámetros estadísticos a considerar*. Instituto Español de Normalización IRANOR, Madrid.
- [70] UNE-EN ISO 14 (1994) *Dimensiones de las mantas para camas*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [71] UNE-EN ISO 354 (2003). *Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [72] UNE-EN ISO 963 (1995) *Geotextiles y productos relacionados. Toma de muestras y preparación de las probetas para ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [73] UNE-EN ISO 12947-1 (1999) *Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos por el método Martindale. Parte 1: Aparato de ensayo de abrasión de Martindale*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [74] UNE-EN ISO 12947-2 (1999) *Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos por el método Martindale. Parte 2: Determinación de la rotura de la probeta*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
-

- [75] UNE-EN ISO 12947-3 (1999) *Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos por el método Martindale. Parte 3: Determinación de la pérdida de masa.* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [76] UNE-EN ISO 12947-4 (1999) *Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos por el método Martindale. Parte 4: Evaluación del cambio de aspecto.* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [77] UNE-EN ISO 20139 (1992) *Textiles. Atmósferas normales para el acondicionamiento y ensayos.* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [78] UNE-EN ISO 20105-A02 (1998) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A02: Escala de grises para evaluar la degradación. (ISO 105-A02:1993)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [79] UNE-EN ISO 20105-A03 (1998) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A03: Escala de grises para evaluar la desacarga. (ISO 105-A03:1993)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [80] UNE-EN ISO 105-A08 (2003) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte A08: Vocabulario utilizado en la medición del color. (ISO 105-A08:2001)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [81] UNE-EN ISO 105-B01 (2000) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B01: Solidez del color a la luz: Luz del día. (ISO 105-B01:1994, incluyendo corrigendum tecnico 1:1998)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [82] UNE-EN ISO 105-B02/A1 (2002) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B02: Solidez del color a la luz artificial: Lámpara de arco*

- de Xenon. (ISO 105-B02:1994/AMD.2:2000)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [83] UNE-EN ISO 105-B02 (2001) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B02: Solidez del color a la luz artificial: Lámpara de arco de Xenon. (ISO 105-B02:1994, Incluyendo modificación 1:1998)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [84] UNE-EN ISO 105-B03 (1999) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B03: Solidez del color a la intemperie natural: Exposición al aire libre. (ISO 105-B03:1994)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [85] UNE-EN ISO 105-B04 (1998) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B04: Solidez del color a la intemperie artificial: Lámpara de arco de Xenon. (ISO 105-B04:1994)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [86] UNE-EN ISO 105-B05 (1996) *Textiles. Ensayos de solidez de las tinturas. Parte B05: Detección y evaluación de la fotocromia. (ISO 105-B05:1993)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [87] UNE-EN ISO 105-B08 (2001) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B08: Control de calidad de la escala de azules del 1 al 7. (ISO 105-B08:1995)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [88] UNE-EN ISO 105-C06 (1997) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte C06: Solidez del color al lavado doméstico y comercial. (ISO 105-C06:1994)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [89] UNE-EN ISO 105-D01 (1996) *Textiles. Ensayos de solidez de las tinturas. Parte D01: Solidez de las tinturas a la limpieza en seco. (ISO*
-

- 105-D01:1993) Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [90] UNE-EN ISO 105-D02 (1996) *Textiles. Ensayos de solidez de las tinturas. Parte D02: Solidez de las tinturas al frote: Disolventes orgánicos. (ISO 105-D02:1993)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [91] UNE-EN ISO 105-X11 (1997) *Textiles. Ensayos de solidez de las tinturas. Parte X11: Solidez de las tinturas al planchado. (ISO 105-X11:1994)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [92] UNE-EN ISO 105-X12 (2003) *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte X12: Solidez del color al frote. (ISO 105-X12:2001)* Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [93] UNE-EN ISO 29092 (1992) *Textiles. No tejidos. Definición (ISO 9092:1988)*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [94] UNE 53170 (2002) *Materiales poliméricos celulares flexibles. Determinación de la fatiga estática a deformación constante*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [95] UNE 11012 (1989) *Sofás. Métodos de ensayo para determinar la resistencia estructural*. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Madrid.
- [96] Viertel L. Control y gestión de la Calidad en industrias de la confección. Colección de Manuales Técnicos de la Asociación de Investigación Textil Algodonera (A.I.T.A.) Hospitalet de Llobregat, 1979.
- [97] VOLKSWAGEN (2000) *VW 501-80: Componentes del vano interior del vehículo. Comportamiento de emisión*. Volkswagen AG - SEAT S.A. - ŠKODA a.s. - AUDI AG.

- [98] VOLKSWAGEN (2000) *PV 3900: Piezas del ambiente interior del vehículo. Detección olfativa*. Volkswagen AG - SEAT S.A. - ŠKODA a.s. - AUDI AG.
- [99] Volvo (1992) *VDA 270: Determination of the odour characteristics of trim material in motor vehicles*. Verband der Automobilindustrie e V., Bietigheim-Bissingen.
- [100] Volvo (1997) *STD 1027-2712: Odour of trim materials in vehicles*. VOLVO Corporate Standard.
- [101] Wold, H. The Non Linear Iterative Partial Least Squares Approach. *Perspectives in Probability and Statistics. Papers in Honour of M.S. Bartlett*. Ed. Gani. J. Academic Press, London, 1975.
- [102] XP V 09-501 (1999) *Analyse sensorielle. Guide général pour l'évaluation sensorielle. Description, différenciation et mesure hédonique*. Association Française de Normalisation AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex.
- [103] XP V 09-502 (2002) *Analyse sensorielle. Directives générales pour un suivi, par approche sensorielle, de la qualité d'un produit au cours de sa fabrication*. Association Française de Normalisation AFNOR, Saint-Denis La Plaine Cedex.
-

Cláusula de Buen Uso

Queda absolutamente prohibida la utilización, investigación y desarrollo, de forma directa o indirecta, de cualquiera de las aportaciones científicas propias del autor, que se presentan en esta memoria, por parte de cualquier ejército del mundo o por parte de cualquier grupo armado, para cualquier uso militar y para cualquier otro uso que atente contra los derechos humanos o contra el medio ambiente, salvo permiso por escrito de todas las personas del mundo.