
Modelización de la variación dimensional de los tejidos de punto por recogida durante todo el proceso productivo

Septiembre de 2022

Autor: Jorge Llinares Berenguer

Directores: Dr. Pau Miró i Martínez
Dr. Pablo Díaz García.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

La vida es como montar en bicicleta.
Para poder mantener el equilibrio ,
tienes que seguir moviéndote.

Albert Einstein

Agradecimientos:

Quiero agradecer en primer lugar a mis directores de tesis Pablo Díaz García y Pau Miró i Martínez por todos los conocimientos que me han transmitido, su ayuda constante y su implicación en el desarrollo de esta tesis. Sin vuestra ayuda ésto no hubiera sido posible.

A mi director de programa de doctorado Francisco Javier Cases por facilitarme la tramitación y orientación a seguir en la tesis.

A los departamentos de Ingeniería Textil y Papelera y al de Estadística de la Escuela Politècnica Superior d'Alcoi por permitir utilizar todas sus instalaciones para esta investigación.

A la empresa Ramón Espí S.L. por haberme dejado investigar e implantar todos los conocimientos adquiridos en esta tesis en sus instalaciones.

A Jordi Jordán por su ayuda y apoyo en la utilización del editor de texto Latex.

Por último, a mis dos hijos (Jordi y Marina) quienes han sido mi motor de motivación en los momentos más duros y a mi esposa (Ana) quién supo esperar pacientemente y comprender que lo que estaba realizando es un proyecto del cual, tarde o temprano se obtendrá su recompensa.

Resumen

El objetivo de esta tesis se considera de gran relevancia para los técnicos de las industrias textiles de género de punto, ya que contribuye a simplificar enormemente los cálculos productivos en las empresas de género de punto por trama. Ofrece un método eficaz para predecir el encogimiento longitudinal, transversal y al ancho de los tejidos de punto después de los procesos de tejeduría, tintura y acabados a partir de la forma dimensional que adopte la malla. Esta investigación se ha realizado con el análisis de más de 700 muestras de tejido extraídas de sus respectivas partidas de tejido. Con este análisis se han obtenido modelos de regresión lineal. Después de la verificación de los resultados obtenidos se validan los modelos, apreciando mínimos errores que verifican su aplicabilidad.

Esta Tesis Doctoral comienza con el análisis de la variación dimensional de las tres estructuras fundamentales: interlock, 1x1 rib y single jersey. Durante los procesos de tejeduría, tintura y acabado de los tejidos de punto, se pueden dar una serie de circunstancias que pueden alterar la calidad del producto final del tejido y por consiguiente su transmisión directa al artículo al que va a ser destinado. Uno de estos factores que ha creado mucha incertidumbre en su trabajo a los técnicos de las industrias textiles ha sido la estabilidad dimensional de los tejidos de punto.

La aplicación de los resultados de la Tesis puede proporcionar un importante ahorro de tiempo a las empresas de género de punto y, en consecuencia, un

ahorro de inversión en stock de productos intermedios. Con la aplicación de los modelos desarrollados, las empresas no necesitan utilizar los métodos de cálculo comunes consistentes en la aplicación de la norma UNE EN ISO 6330-2012, que requiere un día de parada en la producción hasta la obtención de los resultados.

También en esta Tesis doctoral se han propuesto modelos que expliquen la variabilidad de la longitud del hilo absorbido por una malla, en cada una de las tres estructuras fundamentales, a partir de modelos que utilizan otras variables mucho más sencillas de analizar. De esta forma se deja de un lado el cálculo tradicional utilizado basado en la norma UNE-EN 14970, ya que este procedimiento es algo engorroso, requiriendo mucho tiempo y un aparato de medición del hilo. Con la utilización de los modelos propuestos se agiliza la estimación de la longitud de malla entre los estados de relajación propuestos, dos en tejeduría (Tejeduría y relajación en seco y Tejeduría y relajación en húmedo) y dos en tintura (Tintura y relajación en seco y tintura y relajación en húmedo).

Resum

L'objectiu d'aquesta tesi es considera de gran rellevància per als tècnics de les indústries tèxtils de gènere de punt, ja que contribueix a simplificar enormement els càlculs productius a les empreses de gènere de punt per trama. Ofereix un mètode eficaç per predir l'encongiment longitudinal i transversal dels teixits de punt després dels processos de teixidura, tintura i acabats a partir de la forma dimensional que adopte la malla. Aquesta investigació s'ha fet amb l'anàlisi de més de 700 mostres de teixit extretes de les respectives partides de teixit. Amb aquesta anàlisi s'han obtingut models de regressió lineal. Després de la verificació dels resultats obtinguts es validen els models, apreciament mínims errors que verifiquen la seua aplicabilitat.

Aquesta Tesi Doctoral comença amb l'anàlisi de la variació dimensional de les tres estructures fonamentals: interlock, 1x1 rib i single jersei. Durant els processos de teixidura, tintura i acabat dels teixits de punt, es poden donar una sèrie de circumstàncies que poden alterar la qualitat del producte final del teixit i per tant la seva transmissió directa a l'article a què serà destinat. Un d'aquests factors que ha creat molta incertesa a la feina als tècnics de les indústries tèxtils ha estat l'estabilitat dimensional dels teixits de punt.

L'aplicació dels resultats de la Tesi pot proporcionar un important estalvi de temps a les empreses de gènere de punt i, en conseqüència, un estalvi d'inversió en estoc de productes intermedis. Amb l'aplicació dels models desenvolupats, les empreses no necessiten utilitzar els mètodes de càlcul comuns consistents

en l'aplicació de la norma UNE EN ISO 6330-2012, que requereix un dia de parada a la producció fins a l'obtenció dels resultats.

També en aquesta Tesi doctoral s'han proposat models que expliquen la variabilitat de la longitud del fil absorbit per una malla, en cadascuna de les tres estructures fonamentals, a partir de models que utilitzen altres variables molt més senzilles d'analitzar. D'aquesta manera es deixa d'una banda el càlcul tradicional utilitzat basat en la norma UNE-EN 14970, ja que aquest procediment és una mica molest, requerint molt de temps i un aparell de mesura del fil. Amb la utilització dels models proposats s'agilitza l'estimació de la longitud de malla entre els estats de relaxació proposats, dos en teixidura (Teixidura i relaxació en sec i Teixidura i relaxació en humit) i dos en tintura (Tintura i relaxació en sec i tintura i relaxació en humit).

Abstract

The objective of this thesis is considered of great relevance for the technical of the knitwear textile industries, since it greatly simplifies the productive calculations in weft knitting companies. It offers an effective method for predicting the longitudinal and transverse shrinkage of knitted fabrics after the knitting, dyeing and finishing processes, based on the dimensional shape adopted by the loop. This research has been carried out with the analysis of more than 700 knitting samples extracted from their respective fabrics items. With this analysis we have obtained linear regression models. After verification of the results obtained, the models are validated, appreciating minimum errors that verify their applicability.

This Doctoral Thesis begins with the analysis of the dimensional variation of the three fundamental structures: interlock, 1x1 rib and single jersey. During the knitting, dyeing and finishing processes of knitted fabrics, can be given a series of circumstances that can alter the quality of the final product of the fabric and therefore its direct transmission to the article to which it is going to be intended. One of these factors that has created a lot of uncertainty in your work technical of the textile industries has been the dimensional stability of knitted fabrics.

The application of the results of the Thesis can provide a significant save time for knitting companies and, consequently, an investment savings in stock of intermediate products. With the application of developed models, companies

do not need to use the calculation methods consisting of the application of the UNE EN ISO 6330-2012 standard, which It requires a day of stoppage in production until the results are obtained.

Also in this Doctoral Thesis models have been proposed that explain the variability of the length of the thread absorbed by a loop, in each of the three fundamental structures, from models that use other variables much easier to analyze. In this way, it leaves aside the traditional calculation used based on the UNE-EN 14970 standard, since this procedure is somewhat cumbersome, requiring a lot of time and a thread measurement. With the use of the proposed models, the estimation of the loop length between the proposed relaxation states, two in knitting (knitting and dry relaxation and knitting and wet relaxation) and two in dyeing (dyeing and dry relaxation and dyeing and wet relaxation).

Índice general

Índice general	XIII
Índice de figuras	XV
Índice de tablas	XXIII
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Estado el arte	3
1.3 Hipótesis y objetivos.	32
1.4 Estructura de la tesis	35
2 Metodología	37
2.1 Materiales.	38
2.2 Procesos productivos	39
2.3 Estructuras de tejidos.	55
2.4 Aparatos de laboratorio necesarios para el análisis de los tejidos	58
2.5 Variables analizadas	61

2.6 Técnicas de análisis	65
3 Modelización de la longitud de hilo absorbido por una malla sobre tejidos de interlock	69
3.1 Experimental.	70
3.2 Resultados y discusión	75
3.3 Conclusiones	80
4 Determinación de la longitud de malla en los tejidos de 1x1 rib y punto liso.	83
4.1 Experimental.	84
4.2 Resultados y discusión	93
4.3 Conclusiones	105
5 Cálculo del encogimiento de los tejidos de punto según la forma de la malla.	107
5.1 Experimental.	108
5.2 Resultados y discusión	110
5.3 Conclusión	126
6 Discusión general de los resultados	129
6.1 Discusión	130
7 Conclusiones	155
A	163
B	173
C	187
Bibliografía	201

Índice de figuras

1.1. Estructuras de género de punto por recogida analizadas en el estudio de Mikocioniene y col. 2010.	9
1.2. Representación gráfica del tejido milano rib en la investigación de Amreeva y Kurbak	11
1.3. Representación gráfica del tejido half milano rib en la investigación de Amreeva y Kurbak	11
1.4. Representación gráfica del modelo general de punto liso de Fouda, Hadidy y Deeb	17
1.5. Representación gráfica del modelo geométrico en el que se tocan las mallas en dirección de las columnas de Fouda, Hadidy y Deeb	17
2.1. Diagrama del proceso productivo utilizado para la producción de los tejidos utilizados en este estudio	39
2.2. Máquina circular de pequeño diámetro modelo Mayer FV 2.0	40
2.3. Máquina circular de una fontura modelo Mayer MV4 II	41
2.4. Formación de malla de la máquina circular de una fontura modelo Mayer MV4 II	41

2.5. Agujas y platinas utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer MV4 II	41
2.6. Máquina circular de punto inglés modelo Mayer FV 2.0	43
2.7. Formación de malla de la máquina circular de punto inglés modelo Mayer MV4 II	43
2.8. Agujas utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer FV 2.0	43
2.9. Máquina circular de interlock modelo Mayer IHG II	44
2.10. Formación de malla de la máquina circular de interlock modelo Mayer IHG II	44
2.11. Agujas utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer IHG II	45
2.12. Vista de una máquina de tintura por cuerda MultiflowI	46
2.13. Esquema de una máquina Multiflow modelo MCSI	46
2.14. Curva de tintura del blanqueo óptico para los tejidos de algodón 100%.	47
2.15. Curva de tintura del blanqueo óptico para los tejidos de algodón-elastano.	48
2.16. Curva de tintura del descrudado, blanqueo químico y tintura en color negro con colorantes reactivos.	49
2.17. Curva de tintura del descrudado, blanqueo químico y tintura en los colores visón y natural con colorantes reactivos.	49
2.18. Máquina utilizada para el perchado de género de punto tubular	52
2.19. Vista delantera de una compactadora de género de punto tubular modelo Heliot HC 95 PI	53
2.20. Vista trasera de una compactadora de género de punto tubular modelo Heliot HC 95 PI	53
2.21. Haz del tejido de punto liso de algodón 100 % después del proceso de tintura.	55

2.22. Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de punto liso.	55
2.23. Tejido de 1x1 rib de algodón 100 % después del proceso de tintura. 56	
2.24. Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de 1x1 rib.	56
2.25. Tejido de interlock de algodón 100 % después del proceso de tintura.	57
2.26. Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de interlock.	57
2.27. Lavadora normalizada modelo Electrolux Wascator FOM71MP utilizada para el análisis de los tejidos utilizados en esta investigación	58
2.28. Cuentahilos utilizado para el análisis de la densidad de malla .	59
2.29. Cortaprobetas utilizado para el análisis del tejido en esta investigación	59
2.30. Balanza de precisión utilizada en el análisis del tejido en esta investigación	60
2.31. Aparato utilizado para la medición de la longitud de un hilo . .	60
2.32. Representación esquemática sobre una estructura de punto de las variables Pdas/cm, columnas/cm, densidad de malla, masa laminar, longitud de malla, alto de malla y ancho de malla. . .	62
3.1. Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y las pasadas/cm para el estado de relajación DWR.	77
3.2. Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y las columnas/cm para el estado de relajación DWR.	77
3.3. Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y la densidad de malla para el estado de relajación DWR.	78

4.1. Estados de relajación en los procesos de tejeduría y tintura. . .	90
4.2. Pasadas por centímetro para las estructuras de 1x1 rib.	95
4.3. Columnas por centímetro para las estructuras de 1x1 rib. . . .	96
4.4. Densidad de Malla para las estructuras de 1x1 rib.	97
4.5. Longitud de malla para las estructuras de 1x1 rib.	98
4.6. Pasadas por centímetro para las estructuras de punto liso. . . .	99
4.7. Columnas por centímetro para las estructuras de punto liso. . .	100
4.8. Densidad de Malla para las estructuras de punto liso.	101
4.9. Longitud de malla para las estructuras de punto liso.	102
4.10. Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre las pasadas por centímetro y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.	103
4.11. Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre las columnas por centímetro y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.	103
4.12. Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre la densidad de malla y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.	104
5.1. Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de interlock hechas con 19,44 Tex 100 % algodón con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	114
5.2. Estructura de interlock con mallas normales en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).	115
5.3. Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de 1x1 rib, dos de las cuales con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 %, y una tercera con 11,77 Tex vanisado en alimentadores alternos en las agujas del plato con 22 dTex de elastano, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	118

5.4. Estructura de 1x1 rib con hilo de título 21,96 Tex de algodón 100 % en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).	119
5.5. Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de punto liso hechas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	122
5.6. Estructura de punto liso con hilo de título 21,96 Tex de algodón 100 % en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).	123
5.7. Representación gráfica del modelo obtenido por regresión lineal para predecir la variable alto de malla (Y) en el estado de relajación DWR conociendo el valor de la misma variable en el estado DDR para las estructuras de 1x1 rib.	124
5.8. Representación gráfica del modelo obtenido por regresión lineal para predecir la variable alto de malla (Y) en el estado de relajación DWR conociendo el valor de la misma variable en el estado DDR para las estructuras de punto liso.	125
6.1. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	130
6.2. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	131
6.3. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	132

6.4.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	133
6.5.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	134
6.6.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	135
6.7.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	136
6.8.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	137
6.9.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	138
6.10.	Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras analizaas de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	139

- 6.11. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras analizaas de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR. 140

- 6.12. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR 141

- 6.13. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR 142

- 6.14. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR 142

- 6.15. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR 143

- 6.16. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR 144

- 6.17. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras analizadas de Punto LIso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR. 145

6.18. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	146
6.19. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	147
6.20. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	148
6.21. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	149
6.22. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	150
6.23. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	151
6.24. Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.	152

Índice de tablas

1.1. Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación propuestos por Kumar y Sampath	14
2.1. Hilos a utilizar en la fabricación de los tejidos a ensayar.	38
2.2. Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos de punto liso utilizados en esta investigación.	42
2.3. Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos de 1x1 rib utilizados en esta investigación.	42
2.4. Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos 1x1 rib vanisados con elastómero utilizados en esta investigación.	43
2.5. Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos con estructura de interlock T1, T2, T3.	45
2.6. Productos utilizados en el blanqueo óptico del algodón.	47
2.7. Productos utilizados en el blanqueo óptico del algodón-elastano.	48
2.8. Productos utilizados en el proceso de tintura del color negro en algodón-elastano.	50
2.9. Productos utilizados en el proceso de tintura de los colores visón y natural en algodón-elastano.	51

3.1. Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, después del proceso de tejeduría.	71
3.2. Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, en el estado de relajación DDR.	73
3.3. Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.	74
3.4. Modelos propuestos mediante regresión lineal para cada tejido T1, T2, T3, en el estado de relajación DDR.	75
3.5. Modelos propuestos mediante regresión lineal para cada tejido T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.	76
3.6. Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados en el estado de relajación DDR.	78
3.7. Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.	79
3.8. Resumen de los errores estimados cometidos por los modelos propuestos, para cada tejido (T1, T2, T3) para la estimación de la longitud de malla.	79
3.9. Resumen de los errores estimados cometidos por los modelos genéricos propuestos para la estimación de la longitud de malla.	80
4.1. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en los estados de relajación KDR.	86
4.2. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en los estados de relajación KWR.	87
4.3. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación KDR.	88
4.4. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación KWR.	89

4.5. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en el estado de relajación DDR.	91
4.6. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en el estado de relajación DWR.	92
4.7. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación DDR.	93
4.8. Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación DWR.	94
4.9. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación KDR.	95
4.10. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación KWR.	96
4.11. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación KDR.	97
4.12. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación KWR.	98
4.13. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DDR.	99
4.14. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DWR.	100
4.15. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DDR.	101
4.16. Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DWR.	102
5.1. Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de interlock entre los estados de relajación KDR-DDR.	112
5.2. Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de interlock entre los estados de relajación DDR-DWR.	113

5.3.	Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de 1x1 rib entre los estados de relajación KDR-DDR.	116
5.4.	Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de 1x1 rib entre los estados de relajación DDR-DWR.	117
5.5.	Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de punto liso entre los estados de relajación KDR-DDR.	120
5.6.	Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de punto liso entre los estados de relajación DDR-DWR.	121
5.7.	Modelos propuestos por regresión lineal para estimar las variables Alto de Malla (Y) y Ancho de Malla (X) en los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso analizados en el estado de relajación DWR.	124
7.1.	Modelos propuestos por regresión lineal para estimar las variables Alto de Malla (Y) y Ancho de Malla (X) en los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso analizados en el estado de relajación DWR.	156
7.2.	Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados en el estado de relajación DDR.	157
7.3.	Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.	157
7.4.	Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DDR.	158
7.5.	Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DWR.	158
7.6.	Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DDR.	159
7.7.	Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DWR.	159

Capítulo 1

Introducción

Los tejidos de punto por recogida presentan un alto grado de inestabilidad dimensional, razón suficiente para dificultar el tratamiento de éstos durante todo su proceso productivo.

El control de la longitud del hilo absorbido por una malla durante la formación del tejido o minimizar las tensiones transmitidas a éste durante los procesos posteriores de tintura y acabados, pueden ser algunos de los factores determinantes en la obtención de tejidos dimensionalmente estables.

Por lo tanto, para garantizar la estabilidad dimensional de los tejidos durante su vida útil, se requiere controlar las variaciones dimensionales obtenidas sobre el tejido tratado durante todo su proceso productivo. Para su control se requiere analizar los tejidos tratados, pudiendo tardar hasta una jornada laboral en obtener los resultados.

Es por ello que se requiere controlar todo el proceso productivo utilizando herramientas estadísticas que ayuden a evaluar todas las variables que intervienen en él. De esta forma se pretende garantizar la calidad del tejido acabado sin necesidad de generar sobrecostes y mermas con lotes experimentales. Esta problemática es el objetivo de estudio de esta tesis.

1.1 Antecedentes

La aplicación de los análisis descritos anteriormente para obtener el estado de mínima energía DWR en un proceso productivo, obliga a paralizar las partidas de tejido un tiempo nunca inferior a un día. Una vez conocido el resultado de su estabilidad dimensional se puede compactar el tejido aplicando las variaciones dimensionales obtenidas de su análisis y así pues, eliminar al máximo posible los estirajes transmitidos al tejido durante el proceso productivo.

Este procedimiento es algo largo y engorroso. Por lo tanto, la empresa tiene la necesidad de agilizar el proceso de obtención de estos resultados, proponiendo modelos simplificados para el cálculo de estos parámetros de una forma más rápida.

Por otro lado, a la hora de replicar tejidos se hace necesario controlar las variables dimensionales de éstos. Una de las variables más importantes es la *longitud de malla*. Ésta depende directamente de la cantidad de hilo que entregue el alimentador de la máquina circular a la aguja. A mayor entrega de hilo, mayor longitud de malla. Una pequeña variación en esta variable puede dar como resultado la obtención de tejidos con comportamiento físicos y dimensionales diferentes. Es por ello que se necesita conocer de una forma más rápida esta variable para su control y así garantizar una calidad constante en el producto final.

1.2 Estado el arte

El control de la estabilidad dimensional de los tejidos de punto durante todo el proceso productivo es uno de los propósitos que más problemática ha generado a los responsables de calidad de las industrias textiles. Las variaciones dimensionales transmitidas al tejido por medio de estirajes durante el proceso productivo, tienen que ser eliminadas o minimizadas al máximo, antes del corte del patrón deseado o esos estirajes serían los causantes de los encogimientos de la prenda final. Es por ello, que antes del proceso de corte, hay que realizar una operación intermedia que haga llegar al tejido, en la medida de lo posible, a un estado de máxima relajación. Con el compactado del tejido se consigue minimizar estos encogimientos. Pero, para realizar este proceso, previamente se tiene que conocer las variaciones dimensionales del tejido a tratar, mediante un análisis basado en la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012. Este análisis puede requerir hasta un día en su realización, provocando una retención en las partidas de tejido hasta conocer su resultado. Si se pudiera conocer las variaciones de los tejidos de punto de forma más rápida, se agilizaría el proceso productivo, evitando inmovilizados y, así pues, conseguir una mayor optimización del proceso productivo y, por consiguiente, ser más competitivos.

1.2.1 *Propiedades dimensionales de los tejidos de punto.*

La obtención de tejidos estables dimensionales ha sido foco de atención para muchos investigadores. Prueba de ello son los numerosos estudios encontrados de esta temática. A principios del siglo XX Chamberlain propuso el primer modelo matemático que trataba de determinar la configuración de la malla de un tejido de punto (Chamberlain 1926).

Posteriormente, Peirce propuso unas ecuaciones (1.1 y 1.2) para el cálculo de la *longitud de malla* y de la *masa laminar* en los tejidos de punto liso (Peirce 1947) .

$$l = 2p + w + 5,94d \quad (1.1)$$

$$w = \frac{lg}{wp} \quad (1.2)$$

Siendo:

l : Longitud de malla.

p : Alto de malla.

w : Ancho de malla.

g : Peso por unidad de longitud del hilo.

A partir de las ecuaciones de Peirce (1.1 y 1.2), Fletcher y Roberts (1952b) estudiaron la geometría de los tejidos de punto liso y rib de algodón, llegando a las siguientes conclusiones:

- El cálculo de la longitud de malla con la ecuación 1.1 es asumida cuando el volumen específico del hilo es de 1,1. Cuando se utiliza el valor experimental del diámetro del hilo, la *longitud de malla* sigue la relación:

$$l = 2p + w + 4,56d \quad (1.3)$$

- La ecuación de Peirce (1.2) utilizada para el cálculo de la masa laminar, muestra una buena explicación de la variabilidad de los datos experimentales obtenidos.
- El hilo en el tratamiento de blanqueo experimentó un encogimiento mínimo. Por lo tanto la contracción del hilo contribuye poco a la variación dimensional del tejido.
- Los tejidos acabados en los que el *alto de malla* y *ancho de malla* antes del lavado siguen una relación parabólica similar a la de los tejidos blanqueados, presentando mínimos cambios en su longitud y ancho.
- Los tejidos que habían presentado la mayor disminución de su área después de su lavado son los que se habían quedado más rígidos. En algunos tejidos de punto se produjo un aumento de su área debido al aumentar excesivamente su ancho pero longitudinalmente no se habían contraído excesivamente.

Fletcher y Roberts (1952a) aplicaron el mismo procedimiento que habían utilizado en los tejidos de algodón, en los de punto liso, 1x1 rib e interlock con composición de viscosa, acetato-viscosa y poliamida. Encontraron que:

- Los valores experimentales de la *longitud de malla* obtenidos oscilan entre los valores obtenidos por las ecuaciones 1.4 y 1.5.

$$l = 2p + w + 4, 18d \quad (1.4)$$

$$l = 2p + w + 6, 74d \quad (1.5)$$

- La *masa laminar* calculada por la ecuación 1.2 presenta unos valores similares a los obtenidos experimentalmente.
- El hilo en el tejido acabado no se estiró ni encogió más de un 3%. Por lo tanto, la variación dimensional del hilo no contribuye excesivamente al cambio dimensional del tejido.
- Los valores del alto y ancho de malla de los tejidos en crudo, lavados y acabados siguen una relación parabólica del tipo $p^2 = a(w + b)$:
- El encogimiento en área de todos los tejidos analizados de viscosa, crudos y acabados hace aumentar la rigidez del tejido. Sin embargo, los tejidos de composición acetato-viscosa y poliamida usualmente no presentan tanto encogimiento y por lo tanto la rigidez del tejido es menor.

Ecuaciones de Munden.

En cuanto a la geometría de las estructuras de punto liso después de cualquier estado de relajación ya sea en seco o húmedo, Munden propone una serie de relaciones matemáticas (Munden 1959):

$$DM = \frac{K_1}{LM^2} \quad (1.6)$$

$$P = \frac{K_2}{LM} \quad (1.7)$$

$$\frac{K_2}{K_3} = K_4 \quad (1.8)$$

$$C = \frac{K_3}{LM} \quad (1.9)$$

P: Cursos o pasadas por unidad de medida.

C: Columnas por unidad de medida

DM: Densidad de malla.

LM: Longitud de malla.

K_1, K_2, K_3, K_4 : Constantes.

$$K_1 = K_s.$$

$$K_2 = K_c.$$

$$K_3 = K_w.$$

De las ecuaciones anteriores se deduce:

$$K_2 \cdot K_3 = K_1 \tag{1.10}$$

$$\frac{K_2}{K_3} = K_4 \tag{1.11}$$

Sugiere que la configuración de la malla es determinada por condiciones de mínima energía y que, en el estado de relajación, cuando se libera de tensiones mecánicas, la malla tenderá a adoptar esta forma. También sugiere que se puede esperar que esta configuración sea independiente de las propiedades del hilo o de la longitud de malla. Con estos supuestos básicos, el análisis geométrico de la malla tejida indica que las dimensiones de un tejido de punto en su estado de relajación están determinados únicamente por la longitud del hilo absorbido por la malla; todas las demás variables del hilo y del tejido sólo afectan las dimensiones del tejido, ya sea alterando la longitud del tejido o distorsionándolo temporalmente.

Este concepto de la *longitud de malla* como la variable única que afecta la calidad del tejido ofrece nuevos métodos para controlar su calidad del tejido también para asegurar que éste se construya con las dimensiones y el peso requerido.

Munden afirma que, a partir de entonces, la operación de tejeduría puede basarse en principios de ingeniería estándar, tanto desde el punto de vista del fabricante de la máquina de tejeduría, como el fabricante del tejido en su control de calidad.

Ajustes de los modelos de Munden

Knapton y col. (1968a), descubrieron que en los estados de relajación en seco y en húmedo, la forma de la malla era impredecible y que los valores K en estos estados dependía de ciertos valores del tejido y de la máquina. Sugirieron la agitación mecánica en la relajación en húmedo y el posterior secado en secadora para permitir que los tejidos alcancen su estado de “mínima energía”. Este estado se definió como *completamente relajado*.

Knapton y col. (1968b) introdujeron una variable nueva denominada *Structural Knitted Cell* (SKC) que es la longitud de malla de una celda estructural (l_u), y el alto y ancho de la SKC fueron definidos respectivamente como $1/C_u$ y $1/W_u$. Por lo tanto, Knapton y col. modificaron las ecuaciones de Munden proponiendo las ecuaciones 1.12, 1.13, 1.14 y 1.15.

$$U_c = C_u \cdot l_u \quad (1.12)$$

$$U_w = W_u \cdot l_u \quad (1.13)$$

$$U_s = C_u \cdot W_u \cdot l_u^2 = S_u \cdot l_u^2 \quad (1.14)$$

$$R = \frac{U_c}{U_w} \quad (1.15)$$

donde:

l_u ó *SCSL*: Longitud de hilo en una SKC, definida como longitud de malla de una celda estructural.

C_u : Pasadas por unidad de medida

W_u : Columnas por unidad de medida.

S_u : Densidad de malla.

U_c, U_w, U_s, R : Constantes.

En otras palabras, la *SKC* de una estructura de punto liso estará formada por una malla simple, la de 1x1 rib estará formada por 2 mallas simples y la de la estructura de interlock por 4 mallas simples.

Propiedades físicas y dimensionales de los tejidos de punto liso de mezclas íntimas de algodón con modal, viscosa y modal.

En este estudio se analiza las propiedades dimensionales y físicas de las estructuras de punto liso hechas con hilos 50/50 en mezcla íntima de bambú/algodón, viscosa/algodón y modal/algodón (Gun y col. 2008).

De los resultados obtenidos se llega a la conclusión que el comportamiento dimensional de los tejidos de punto liso, con las tres composiciones anteriormente citadas, son bastante similares. Las constantes dimensionales (valores K) de los tejidos de punto liso de modal/algodón dan un ligero valor más elevado que los tejidos de viscosa/algodón y bambú/algodón.

La masa laminar, grosor del tejido y permeabilidad al aire son independientes del tipo de fibra que se utilice. La resistencia a la tracción depende de la resistencia del hilo.

Dado que los hilos de modal/algodón en un estado completamente relajado tienen mayor tenacidad, los tejidos fabricados con este hilo tienen mayor resistencia a la tracción que los tejidos de bambú/algodón que son los menos resistentes.

Finalmente, en lo que respecta al pilling, los tejidos de bambú/algodón tienen el mejor comportamiento.

La influencia de de la estructura en las propiedades mecánicas de los tejidos de punto por recogida.

Se ha establecido que la elasticidad y la fuerza de contracción de los tejidos de punto por recogida están relacionadas con el tipo de estructura del tejido (Mikučionienė, Čiukas y col. 2010).

Este estudio se realizó en las estructuras que se muestran en la figura 1.1:

- R1x1-I: 1x1 rib.
- R1x1-II: Half cardigan rib.

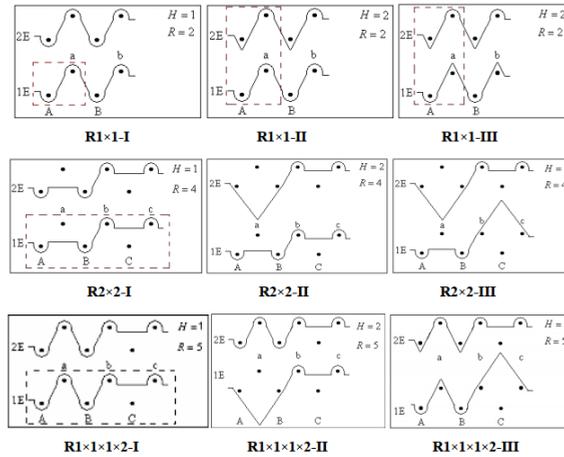


Figura 1.1: Estructuras de género de punto por recogida analizadas en el estudio de Mikociene y col. 2010.

- R1x1-III: Full cardigan rib.
- R2x2-I: 2x2 rib.
- R2x2-II: Tuck-rib stitch.
- R2x2-III: Tuck-rib stitch.
- R1x1x2-I: 1x1x2 rib
- R1x1x2-II: Tuck-rib stitch.
- R1x1x2-III: Tuck-rib stitch.

Las principales conclusiones de este estudio se muestran a continuación:

- En los tejidos *half cardigan* presentan la mayor deformación en sentido longitudinal (dirección de las columnas), debido a las mallas cargadas que tienen el mayor crecimiento del *alto de malla* en valor absoluto. El alargamiento en sentido longitudinal es el mayor en esta estructura.
- Los tejidos *full cardigan* presentan la mayor deformación en sentido transversal (dirección de las pasadas). Esta estructura presenta el mayor estiramiento al ancho de todas ellas.

- Los tejidos con una estructura básica rib se distinguen por su mayor alargamiento a la rotura en dirección transversal. El alargamiento a la rotura en dirección transversal es varias veces mayor que en dirección longitudinal.
- Las estructuras *tuck-rib* son las estructuras con mayor alargamiento a la rotura en la dirección longitudinal.

Influencia de los parámetros de tejeduría en las propiedades mecánicas de los tejidos de punto liso.

Durante el proceso de tejeduría el hilo está sometido a tensión. La carga del hilo transmitida al tejido provoca una deformación en éste (Fatkcic y col. 2011). Cuando los tejidos están expuestos a cargas constantes, la deformación total crece a medida que crece el tiempo de carga. Este fenómeno se le denomina *Fluencia*. Cuando la carga se elimina, una parte de la deformación se reduce, *deformación elástica*, otra parte desaparece en el momento de retirar la carga (deformación elástica residual) y una tercera parte permanece como una *deformación permanente* que no se puede corregir.

La recuperación relacionada con la *deformación elástica inicial* se le llama **Relajación Total**, mientras que la relajación que depende del tiempo se denomina **Relajación Parcial** (Morton y Hearle 1993).

Durante el proceso de relajación, las mallas cambian su forma progresivamente hasta que llegan a un equilibrio de mínima energía. El periodo de relajación depende sobre todo del material de la fibra, densidad y estructura del tejido, así como la magnitud de fuerzas que actúen sobre el tejido durante el proceso de tejeduría. Además, otros parámetros exteriores, como la temperatura, la humedad relativa y la presión del aire tienen una cierta influencia en la relajación del tejido. Por lo tanto, una carga de alimentación de hilo más alta da como resultado una longitud de hilo reducida en la malla. Si el hilo de algodón está vanisado con el hilo de elastano, la longitud del hilo en una malla de algodón se reduce entre un 2-5 %, comparadas con las mallas que no están vanisadas con elastómero, lo que puede provocar rayas horizontales en el tejido. Los cambios dimensionales más destacados en sentido longitudinal y transversal del tejido se obtienen con la mayor carga de alimentación del hilo de tejer en el almenador. Incrementar la carga de alimentación del hilo hace acumular tensiones en el hilo impactando en la formación de malla y consecuentemente a la estructura del tejido. Por eso es recomendable para tejer utilizar una carga de alimentación del hilo mínima. Los mejores resultados de la medición de los pa-

rámetros estructurales y variaciones dimensionales del tejido en el transcurso de su relajación se obtuvieron con las muestras de la carga de alimentación del hilo más baja, para hilos de algodón se ha utilizado la carga de 3 cN y para el monofilamento de elastano de 2 cN (Fatkić y col. 2011).

Propiedades dimensionales en estructuras rib irregulares.

Amreeva y Kurbak (2007) investigaron las propiedades dimensionales de los tejidos de punto de *milano rib* (figura 1.2) y *half milano rib* (figura 1.3).

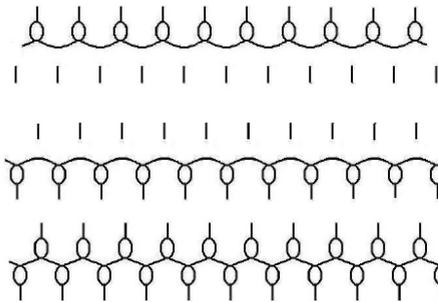


Figura 1.2: Representación gráfica del tejido milano rib en la investigación de Amreeva y Kurbak

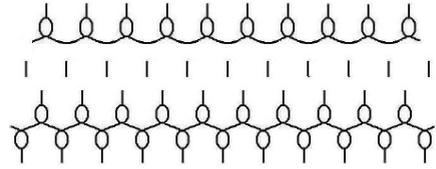


Figura 1.3: Representación gráfica del tejido half milano rib en la investigación de Amreeva y Kurbak

Para ello, utilizaron cinco valores diferentes de malla, que van desde las mallas muy flojas a las más apretadas, y tres tipos diferentes de hilo (28/2 Nm lana, 28/2 Nm acrílico y 16/2 Ne algodón), aplicando tres tipos de relajación:

- *Relajación en seco:* Después de tejer las muestras se colocaron sobre una superficie lisa durante más de una semana para obtener los tejidos relajados en seco.
- *Relajación en húmedo:* Los tejidos relajados en seco fueron sumergidos en agua con un agente humectante sin ningún tipo de agitación durante 24 horas. La temperatura inicial del agua estaba a 50 °C y las muestras se dejaron enfriar a las condiciones atmosféricas. Posteriormente se dejaron secar en una superficie lisa durante una semana para obtener así los tejidos relajados en húmedo.
- *Relajación por lavado:* Los tejidos relajados en húmedo fueron lavados en una lavadora con un programa a 30 °C por 45 minutos, posteriormente

se realizó una breve hidroextracción y se secaron sobre una superficie durante una semana para obtener los tejidos relajados por lavado.

Después de cada estado de relajación se midieron las variables *alto de malla*, *ancho de malla* y únicamente después de la relajación en seco se midió la *longitud de malla*. Los modelos de regresión lineal propuestos (Amreeva y Kurbak 2007) son las ecuaciones 1.16 y 1.17.

$$c = c_0 + \frac{l - l_{c_0}}{K_c} \quad (1.16)$$

$$w = w_0 + \frac{l - l_{w_0}}{K_w} \quad (1.17)$$

Siendo:

c: Alto de malla.

w: Ancho de malla.

l: Longitud de malla.

*c*₀, *w*₀, *l*_{*c*0}, *l*_{*w*0}: Son dados en los mismos términos del diámetro del hilo, ya que el diámetro del hilo es diferente en hilos fuera del tejido que dentro del tejido debido a la tensión del éste.

Para el cálculo del diámetro general del hilo se utiliza la fórmula 1.18 (Hearle y col. 1969) :

$$d = 3,57 \sqrt{\frac{Tex}{P \cdot GS}} 10^{-2}(mm). \quad (1.18)$$

Siendo:

Tex: Título del hilo en Tex.

P: Porosidad del hilo.

GS: Gravedad específica.

Los tejidos *milano* y *half milano* están formados por pasadas de 1x1 rib y otras de punto liso. Por lo tanto, la longitud de malla no será la misma en todo el tejido. Por eso, se deben obtener dos valores de la longitud de malla, uno correspondiente a las pasadas de punto liso y otro a las de 1x1 rib.

Otro estudio, TS Kumar y Sampath (2013), proponen “un modelo de red neuronal artificial” para predecir las propiedades dimensionales de los tejidos de punto de recogida con estructura doble cardigan 100% algodón peinado. Las variables investigadas fueron el título del hilo, celdas estructurales de longitud de malla (SCSL), pasadas, columnas, densidad de malla, cada una de ellas en diferentes estados de relajación. Este estudio predice las variables pasadas, columnas y densidad de malla de los tejidos doble cardigan de algodón 100% en los estados de relajación en seco, húmedo y totalmente relajados. Los modelos propuestos se enuncian en la tabla 1.1.

Mobarok (2012) realizó un trabajo para establecer la relación de las variables de tejeduría en los tejidos de punto acabados. La investigación se realizó sobre tejidos de punto liso, pero pudiendo ser aplicados a otros tipos de estructuras. Este procedimiento se basa en la determinación, sobre los tejidos de punto liso estudiados de sus propios factores K, y utilizarlos para predecir las dimensiones de los tejidos ya acabados.

Propiedades físicas y dimensionales de los tejidos de punto liso de algodón/elastano

La tecnología del vanisado es muy utilizada para la producción de tejidos de punto de algodón-elastómero. El vanisado se puede realizar en cada una de las pasadas del tejido o en pasadas alternas. Las propiedades físicas y dimensionales de estos dos tipos de vanisado se resumen a continuación (Marmarali 2003).

- El valor del *alto de malla* y *ancho de malla* es menor en los tejidos vanisados con mallas más pequeñas (tejidos apretados) y aquellos con mayor cantidad de elastómero.
- Después del primer ciclo de relajación por lavado se observa que la variación del *alto de malla* es bastante acentuada en los dos tipos de vanisado aumentando este parámetro. Sin embargo, en el proceso de tintura se experimenta un ligero aumento en el *alto de malla* de las muestras que tienen elastómero en cursos alternos.

Tabla 1.1: Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación propuestos por Kumar y Sampath

Ecuaciones de regresión	Coeficiente de correlación
Relajación en seco	
$C_u = \frac{97,07}{l_u} - 4,25$	0,970
$W_u = \frac{73,21}{l_u} - 2,92$	0,944
$S_u = \frac{7066}{l_u^2} - 41,9$	0,979
Relajación en húmedo	
$C_u = \frac{116,4}{l_u} - 2,91$	0,972
$W_u = \frac{84,01}{l_u} - 1,02$	0,956
$S_u = \frac{9062}{l_u^2} - 15,76$	0,982
Totalmente relajado	
$C_u = \frac{112,7}{l_u} - 0,217$	0,982
$W_u = \frac{87,18}{l_u} - 0,158$	0,974
$S_u = \frac{9802}{l_u^2} - 7,01$	0,986

- El valor del *ancho de malla* en los dos tipos de vanisado desciende a medida que progresan los ciclos de relajación del tejido por lavado, siendo menor el descenso en los tejidos que tienen vanisado en todos sus cursos.

- Para todas las muestras que tienen el mismo *factor de cobertura* la diferencia entre los valores de la *longitud de malla* en cada uno de los estados de relajación son siempre menores al 3% . Por eso, se pueden usar el valor de la longitud de malla obtenida en el estado de relajación en seco que la variación en los otros estados de relajación restantes no variará más de un 3%.
- Se puede concluir que a medida que aumenta la *longitud de malla* la variación del valor de la variable *alto de malla* es mínima para los tejidos con vanisado de elastómero alternos y prácticamente nula en los tejidos con todos los cursos vanisado. Esto es debido a que cuánto mayor proporción de elastómero se encuentre sobre el tejido, la estructura obtenida estará más apretada y por lo tanto se obtendrá una menor variación en el *alto de malla*.

Otra posibilidad de introducir elastómero en un tejido de punto con estructura de punto liso es la introducción de un hilo *core spun* de algodón con núcleo de elastómero. El resultado de la utilización de este tipo de tecnología es satisfactoria, ya que se obtienen unas buenas cualidades de tenacidad, elasticidad, uniformidad y baja vellosidad (V Kumar y Sampath 2013). Utilizando el *core spun* es mucho más sencilla la tejeduría del punto liso de algodón/elastano, ya que únicamente se necesita un alimentador de hilo por cada juego, a diferencia del vanisado que se necesitan dos alimentadores de hilo por cada juego . El tejido obtenido presentará las siguientes características físicas y dimensionales:

- La densidad de las *columnas* no es influenciada por los cambios en los valores de la *longitud de malla*.
- Las variables *pasadas*, *densidad de malla*, *área* y *factor de cobertura* presentan un comportamiento inversamente proporcional a la *longitud de malla* en todos los estados de relajación. Estas variables alcanzan su pico más alto cuando los valores de la *longitud de malla* son los más pequeños y viceversa, en todos los estados de relajación.
- Las muestras de tejido con rango de longitud de malla entre 0,27 a 0,33 cm, muestran una excelente estabilidad dimensional tanto longitudinalmente como transversalmente. Se evidencia cómo las muestras tejidas pueden alcanzar su nivel mínimo de energía, y por lo tanto un estado de equilibrio de manera rápida. El hecho de que la estabilidad dimensional a lo ancho se asegura inmediatamente después del primer lavado y en sentido longitudinal al segundo lavado, es un punto clave a tener en cuenta.

- Finalmente se puede sacar la conclusión que todos los valores de longitud de malla dentro del rango 0,27 a 0,33 cm son adecuados para la fabricación a gran escala usando el core spun de título 19,68 Tex de algodón-elastómero.

Efecto del tratamiento de mercerización con las propiedades dimensionales de los tejidos de punto liso de algodón

Unas muestras de tejido de punto liso de algodón se sometieron a diferentes procesos de relajación: Seco, húmedo y diferentes tratamientos de mercerización. Se consideraron cuatro parámetros de procesamiento de mercerización. El valor de cada constante dimensional fueron calculadas (Moghassem 2013). Con estos resultados se demostró que:

- La disminución en la tensión de mercerización condujo a un aumento de la estabilidad dimensional cuando el valor considerado para los otros tres parámetros estaban en niveles bajos o medios. Bajo las condiciones en las cuales hay más tiempo y temperatura o más concentración de álcali, las bajas tensiones provocan menos estabilidad dimensional.
- La estabilidad dimensional aumenta con el aumento de la concentración de la solución alcalina de 200 a 250 g/L. cuando la temperatura del baño es baja. En condiciones de mercerización con altas temperaturas y largo tiempo, una menor concentración de álcali es eficiente. Aumentar el tiempo de tratamiento conduce a lograr mayor valor K_s , cuando se usa una menor concentración de álcali.
- Para las muestras mercerizadas a alta temperatura y mucha concentración de álcali, es útil reducir el tiempo. La mayoría de las muestras mercerizadas en baño a temperatura de 40 °C muestran un mayor valor K_s . Aumentando el tiempo y la concentración de álcali, la estabilidad dimensional mejora. En condiciones de alta temperatura y poco tiempo, la concentración de álcali obligatoriamente debe de ser alta.
- El proceso de mercerización mejora la estabilidad dimensional de los tejidos de punto, cercano al valor teórico. Además, el valor K_s para todas las muestras son mayores que las muestras en los estados de relajación en seco y húmedos.

1.2.2 Modelos matemáticos para predecir las propiedades físicas y geométricas de los tejidos de punto por recogida.

Fouda y col. (2015) propusieron un nuevo modelo matemático para los tejidos con estructura de punto liso blanqueados, para pronosticar las propiedades dimensionales de éstos antes de su producción. El modelo se presenta a través de dos etapas, denominadas:

- Modelo matemático general idealizado. Con este modelo se asume un modelo general con supuestos generales y posteriormente se deducen las ecuaciones matemáticas (figura 1.4). Los supuestos son los siguientes:
 - Los hilos tienen una sección transversal circular, se pueden tocar entre ellos al entrelazarse las mallas pero no se pueden comprimir.
 - La malla se forma de forma geométrica por líneas rectas y semicircunferencias.

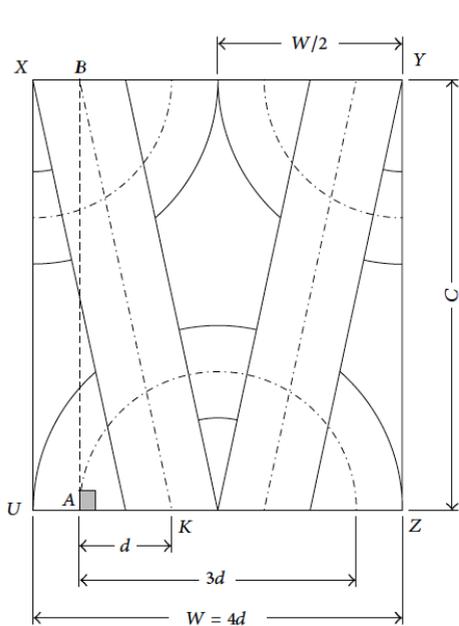


Figura 1.4: Representación gráfica del modelo general de punto liso de Fouda, Hadidy y Deeb

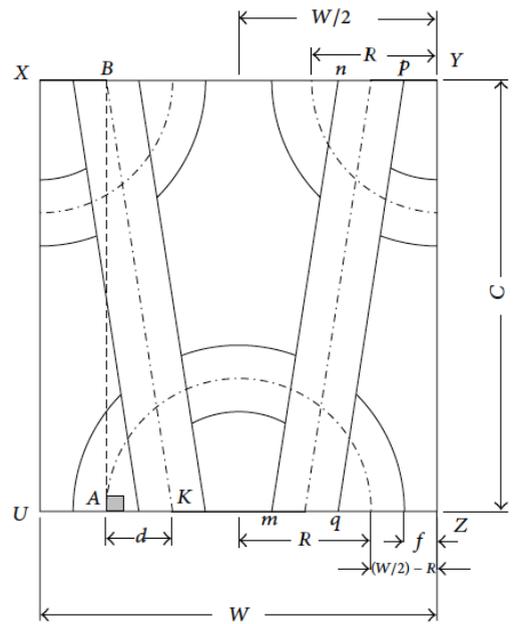


Figura 1.5: Representación gráfica del modelo geométrico en el que se tocan las mallas en dirección de las columnas de Fouda, Hadidy y Deeb

En el modelo matemático general se puede determinar la *longitud de malla* por la ecuación 1.19.

$$LM = \frac{\pi W}{2} + \pi d + 2\sqrt{C^2 + d^2} \quad (1.19)$$

El *factor de cobertura* se puede estimar por la relación matemática 1.20.

$$FC = \frac{\frac{\pi W d}{2} + \pi d^2 + 2d\sqrt{C^2 + d^2}}{W \cdot C} \quad (1.20)$$

- Modelo geométrico fijado en el que las mallas se tocan al entrelazarse entre ellas y comprimiéndose el tejido únicamente en la dirección de las columnas (figura 1.5). Se introducen nuevos supuestos y las ecuaciones finales se deducen para encontrar el modelo matemático adecuado. Los supuestos son:

- La longitud de malla es fija.
- El ancho de malla es igual a cuatro veces el diámetro del hilo.

En el modelo matemático fijado se puede determinar la *longitud de malla* por la ecuación 1.21.

$$LM = 3\pi d + 2\sqrt{C^2 + d^2} \quad (1.21)$$

La variable *alto de malla* se puede deducir por la ecuación 1.22.

$$C = \sqrt{\frac{\left(LM - \frac{3}{4}\pi W\right)^2}{4} - \left(\frac{W}{4}\right)^2} \quad (1.22)$$

El *factor de cobertura* se puede estimar por la relación matemática 1.23.

$$FC = \frac{\left(\frac{3}{4}\pi W + 2\sqrt{\left(\frac{W}{4}\right)^2 + C^2}\right) \cdot d}{W \cdot C} \quad (1.23)$$

El significado de las variables en las ecuaciones 1.19, 1.20, 1.21, 1.22 y 1.23 son:

LM : Longitud de malla.

FC : Factor de cobertura.

W : Ancho de malla.

C : Alto de malla.

d : Diámetro del hilo.

Eltahan y col. (2016) desarrollaron unos modelos teóricos geométricos para la determinación de la longitud de malla, el factor de cobertura y la porosidad sobre los tejidos de punto liso, ya sean de estructuras abiertas, normales, compactas o supercompactas. Los resultados obtenidos se compararon con los modelos propuestos por otros investigadores. Los valores obtenidos a partir de estas ecuaciones son muy aproximados a los valores reales. Las ecuaciones propuestas son las 1.24, 1.25, 1.26.

$$LM = \pi(A - d) + 2\sqrt{B^2 + \left(\frac{A}{2} - d\right)^2} \quad (1.24)$$

donde:

LM : Longitud de malla en mm.

$A = \frac{1}{\text{Columnas}}$ en mm.

$B = \frac{1}{\text{Pasadas}}$ en mm.

d : Diámetro del hilo en mm.

$$FC = \left[\pi \left(\frac{A}{2} + d \right) + 2\sqrt{B^2 + d^2} \right] \cdot d \cdot P \cdot C \quad (1.25)$$

donde:

FC : Pasadas por unidad de longitud.

P : Pasadas por unidad de longitud.

C : Columnas por unidad de longitud.

d : Diámetro del hilo en mm.

$$P = \left[1 - \left(\frac{P \cdot C \cdot LM \cdot \pi \cdot d}{8} \right) \right] \cdot 100 \% \quad (1.26)$$

donde:

$P \%$: Porosidad en %.

P = Pasadas por cm.

C = Columnas por cm.

LM : Longitud de malla en cm.

d : Diámetro del hilo en cm.

1.2.3 *Efecto del vanisado con elastómero y la variación de la longitud de malla.*

Las propiedades físicas, dimensionales y mecánicas de los tejidos de punto liso de algodón vanisados con elastómero fueron investigados y comparados con los tejidos de punto liso de algodón 100 % (Eltahan 2016). Las conclusiones más significativas son:

- Tanto la longitud de malla como el porcentaje de elastómero tienen un gran efecto sobre las propiedades físicas en los tejidos de punto liso.
- A medida que la longitud de malla crece, decrecen la densidad de pasadas y de columnas.
- A medida que aumenta la longitud de malla, la densidad de malla decrece y consecuentemente decrece también la masa laminar. Esto es en el caso de los tejidos de punto liso de algodón 100 %, mientras que añadiendo lycra, el tejido se aprieta y el peso crece a medida que el porcentaje de lycra crece. Es decir, la longitud de malla no tiene un efecto significativo sobre el peso del tejido.

- El grosor del tejido no se ve afectado con la longitud de malla en el caso de los tejidos de 100 % algodón. Sin embargo, introduciendo lycra al tejido de punto, se observa un incremento del grosor del mismo debido a que tiene el punto más apretado.
- El ancho del tejido aumenta a medida que aumenta la longitud de malla. este aumento es más elevado en los tejidos de algodón 100 % que con un 5,7 % de elastómero.
- En los tejidos de punto liso de algodón 100 % o vanisados con un bajo porcentaje de elastómero, la capacidad de recuperación decrece significativamente a medida que aumenta la longitud de malla. Sin embargo, aumentando el porcentaje de elastómero, hay un ligero descenso en la capacidad de recuperación a medida que la longitud de malla aumenta.
- La porosidad aumenta a medida que la longitud de malla aumenta, tanto en los tejidos de punto liso de algodón 100 % cómo en los vanisados en elastómero.
- La extensión del tejido en dirección longitudinal aumenta a medida que aumenta la carga sobre el tejido. Este aumento es mayor en los tejidos vanisados con lycra que en los de algodón 100 %. También se puede observar cómo aumenta el porcentaje de extensión a medida que aumenta el porcentaje de elastómero.
- La extensión en sentido transversal es mayor que en sentido longitudinal bajo la misma carga en ambos casos.
- A medida que la carga aumenta, el porcentaje de recuperación decrece. La reducción de la recuperación en el caso de los tejidos de algodón 100 % es mayor que en los tejidos de elastómero.

Las características dimensionales de los tejidos de punto por recogida son influenciadas por la presencia de un monofilamentos de elastómero (Sitotaw 2018). La longitud de malla de las estructuras básicas de punto liso, 1x1 rib e interlock fabricados con hilos de elastómero se reduce, mientras que en las estructuras de piqué y “fleece” (polar) aumenta la longitud de malla. Otras variables del tejido, como las columnas por centímetro, pasadas por centímetro, densidad de malla, factor de cobertura, la forma de la malla, están interrelacionadas entre sí, actuando de forma inversamente proporcional a la longitud de la malla

1.2.4 Fases del encogimiento según Munden.

Munden divide el encogimiento en tres categorías (Munden 1960):

- Encogimiento de relajación.
- Encogimiento de consolidación.
- Encogimiento de enfieltrado.

El **encogimiento de relajación** es la contracción del tejido cuando éste se humedece. Consiste en colocar el tejido en agua que contiene un suavizante y medir el cambio en las dimensiones del tejido húmedo después de un tiempo específico. El encogimiento obtenido se considera como una medida de las deformaciones impartidas durante su proceso de formación hasta su acabado.

Los tejidos de punto en crudo de mallas flojas presentan mayores encogimientos longitudinales que al ancho, para los tejidos de punto liso. Esto es debido a que las telas no se han relajado a una forma estable en el estado de relajación en seco, conservando su ancho al salir de máquina. Este encogimiento por relajación intrínseco, en la primera humectación, tiene importantes consecuencias prácticas en telas tejidas a partir de hilos tintados (*ecru fabrics*), que a menudo se venden sin ningún proceso de acabado en húmedo, calandrándolos únicamente. Estos tejidos siempre exhibirán un encogimiento de área de al menos un 13-15 % cuando se humedezca por primera vez, más cualquier encogimiento adicional debido a la distorsión del tejido durante el proceso de tejeduría y acabado.

La acción del agua sobre la estructura de la malla de un tejido de punto hecho con un hilo hidrófilo es más que una simple lubricación. Sumergiendo el tejido en agua, hay una rotura de los enlaces cruzados entre las moléculas de las fibras de cadena larga adyacentes cuando las moléculas de agua penetran entre ellas. Estos enlaces cruzados, formados cuando el hilo estaba recto, son fibras tensas en el hilo que se doblan cuando forman la malla. Es esta tensión la que hace que el hilo se enderece nuevamente cuando éste se desteje (se retira de la estructura del tejido). Muchos de estos enlaces se rompen cuando el tejido se humedece por primera vez y en el secado, estos enlaces se vuelven a formar para dar una nueva condición de mínima tensión en la forma de la malla. Por eso el hilo se queda permanentemente moldeado cuando se extrae del tejido ya mojado. Por lo tanto, antes de mojar el tejido, el hilo en el tejido es esencialmente recto y la malla estable es la de mínima energía o mínima flexión para el hilo recto. Durante el tratamiento de humectación, el hilo ha sido modificado por

el agua, quedando permanentemente moldeado a la configuración de la forma de la malla. La configuración de energía mínima no será la misma en ambos casos, ya que en este último caso, la flexión mínima ya no será un requisito previo.

Munden observa que los tejidos de punto tejidos a partir de hilos hidrofóbicos (poliamida) en el que el agua no tiene una acción molecular, no se observan cambios en los valores de K_1 después de la humectación, y que después de la relajación, tanto en seco como en húmedo, se obtiene una configuración de malla similar al valor del estado de relajación en seco de los tejidos hidrofílicos.

El **encogimiento de consolidación** es la contracción adicional normalmente observada en tejidos distintos a la lana durante los tratamientos de lavado después de la relajación en húmedo. Este encogimiento también se produce en los tejidos de lana cuando hay cambios dimensionales durante los primeros tratamientos de lavado sin grandes cambios del área y sin enfieltado del tejido.

Para los tejidos de punto en crudo con mallas apretadas de hilos de algodón y rayón que se someten a condiciones de relajación en húmedo, a menudo las fuerzas de recuperación a la estabilidad verdadera son tan pequeñas que son incapaces de superar las fuerzas de fricción. En este caso, el tejido no adquiere la verdadera forma estable en el proceso de relajación en húmedo. La agitación del tejido, tal y como se produce mediante un tratamiento de lavado estándar, es necesaria para superar las fuerzas de fricción, permitiendo que el tejido adopte sus verdaderas dimensiones estables.

Por lo tanto, la contracción por consolidación observada en los tejidos de algodón y rayón en crudo, su distorsión es tal que el tratamiento de relajación estático es insuficiente para llevarlos a sus valores dimensionales estables en el estado de relajación en húmedo.

Para los tejidos de punto acabados, el encogimiento longitudinal y al ancho observado en el lavado posterior (encogimiento de consolidación), es el resultado de las mallas tensadas en sentido longitudinal que retornan gradualmente durante el lavado a su configuración libre de deformación. Los tejidos de punto liso acabados en cuerda a menudo exhiben un aumento del ancho y un gran encogimiento longitudinal durante el lavado. Esta ganancia en ancho durante el lavado, no se limita a los tejidos de lana. De hecho, es aún más marcado en los tejidos de algodón teñidos o blanqueados, como es el caso de la fabricación de camisetas de punto liso. Sólo después del lavado con agitación, los tejidos acabados comienzan a adoptar su forma estable definitiva.

Puede darse una explicación satisfactoria de este encogimiento cuando se toma en cuenta que el tejido ha sido tratado en húmedo y secado en cuerda. Para mantener el tejido en movimiento, son necesarias tensiones longitudinales. Durante el tratamiento en húmedo en un proceso de blanqueo o tintura, para una configuración de mallas estiradas, se habrán producido la rotura de los enlaces cruzados en la molécula de la fibra, pero tanto la rotura como la subsiguiente reconstrucción de los enlaces ocurrirán con la malla en una condición de tensión longitudinal. Por lo tanto, esta nueva configuración de las mallas estiradas longitudinalmente ahora será la forma del bucle temporalmente estable, ya que los bucles han sido *moldeados molecularmente* a esta forma. La subsiguiente humectación del tejido durante el tratamiento de humectación es suficiente para devolver el tejido a un estado de relajación temporal, contrayéndose longitudinalmente y abriéndose al ancho. Este estado de relajación corresponde con el *encogimiento de relajación*. Pero este resultado no es la forma original de la malla. Será mediante un lavado posterior cuando el tejido vuelve gradualmente a sus dimensiones estables de máxima relajación alcanzando su verdadera forma.

El **Encogimiento de enfieltrado** es exclusivo de los tejidos de lana. Causado por las propiedades de alta extensión y recuperación de las moléculas de lana y la estructura de escamas que le otorga una propiedad de fricción diferencial única.

En el encogimiento por enfieltrado se puede producir un considerable encogimiento del área sin cambios en la longitud del hilo, ya que el encogimiento del hilo nunca es mayor que el 4%. Este encogimiento del área es debido a que la estructura de la malla se comprime o colapsa y la malla se dobla hacia fuera del plano del tejido con el consecuente incremento en el grosor del tejido.

Munden concluye diciendo que las dimensiones estables pueden determinarse con precisión a partir del conocimiento de la *longitud de malla*. Con este conocimiento, el encogimiento se convierte en un parámetro predecible, y los tejidos se pueden diseñar con precisión para producir prendas del tamaño final requerido.

1.2.5 Proyecto “Starfish”.

El proyecto “Starfish” (parte 1) es un programa de investigación que intentaba proporcionar un método de trabajo riguroso y una base de datos suficientemente completa para predecir el encogimiento y el peso por metro cuadrado de un tejido de punto de algodón acabado, basándose solamente en conocer unos parámetros (máquina, hilo, densidad de malla), el proceso final, y las dimensiones finales nominales (Heap y col. 1983). Este sistema de predicción, siempre que fuera sencillo y fiable, sería una herramienta muy valiosa en el diseño de nuevos productos, en el establecimiento o la revisión de las especificaciones y tolerancias, la fijación y acabados apropiados como objetivos de calidad.

El programa se basa en tres fundamentos lógicos:

1. Definir un estado de relajación particular para los tejidos de punto de algodón que sea estable y reproducible: éste es nuestro estado de referencia en la que todas las mediciones deben ser hechas y todos los cálculos basados.
2. Construir una completa base de datos de mediciones hechas de series sistemáticas de tejidos de algodón los cuales han sido fabricados y procesados bajo un estrecho control de calidad pero sin embargo bajo una escala comercialmente realista.
3. Desarrollar un modelo matemático para el estado de referencia que conecte los parámetros del tejido de punto a las dimensiones de los tejidos acabados, relajados de una forma simple y fiable.

Este estudio concluye en tres requisitos para la creación de un sistema de predicción de calidad racional, práctico para los tejidos de algodón acabados:

- Una definición consensuada de un estado de referencia de la relajación que debe ser estable y reproducible.
- Una adecuada base de datos sistemática que describe una amplia gama de calidades de tejido en el estado de referencia.
- Un conjunto de ecuaciones, lo más sencillas posibles, que vinculen parámetros de la tejeduría y el acabado a las dimensiones de los tejidos acabados.

El proyecto “Starfish” (parte 2) se basa en el encogimiento de 20 tejidos de punto de algodón diferentes, haciendo el seguimiento de más de diez ciclos

de relajación utilizando dos métodos de distintos. El primer método utiliza un lavado doméstico y posterior secado por secadora, mientras que de la segunda se utiliza el lavado sólo para el primer ciclo; para el segundo y subsiguientes ciclos, las telas se mojan simplemente por enjuague antes del secado de tambor. Los dos métodos muestran los mismos resultados de contracción dentro del error experimental. Se encontró evidencia de al menos dos procesos de relajación subyacentes separados.

En la dirección de la longitud, los dos procesos son complementarios, dando como resultado la contracción progresiva gradual. En la dirección al ancho, los dos procesos trabajaron en sentidos opuestos, lo que lleva a una mayor incertidumbre en los resultados y no marcada tendencia en la contracción durante un número de ciclos. El enjuague simplificado ha sido adoptado como método de relajación estándar para el proyecto "Starfish". Al menos cinco ciclos parece ser necesarios para llegar al estado completamente relajado.

Los dos métodos de relajación examinados aquí parecen devolver los mismos resultados dentro del error experimental y, ya que es más rápido y más barato, el enjuague/secado, los límites de confianza de las mediciones de contracción son tales que, para fines de investigación se tomarán cinco repeticiones.

1.2.6 Control del encogimiento en los tejidos de punto por recogida de algodón y mezclas.

En un estudio de Black (1974) se demostró que los valores altos de distorsión del tejido ocurren durante la tejeduría, proporcionados por un mal ajuste de la máquina, longitud de malla o construcción del tejido. Esas variaciones pueden no afectar seriamente el valor del encogimiento del tejido acabado, siempre que el tejido esté relajado en húmedo o lavado durante el acabado. Sin embargo, en esos casos que no se realiza un lavado, como puede ser el caso de algunos tejidos producidos con hilos ya tintados, la máquina de género de punto podría tener un efecto acentuado en el encogimiento de los tejidos acabados. Por el contrario, los valores de distorsión deben ser mínimos. Black demuestra en este estudio que valores de encogimiento menores del 3 % pueden lograrse combinando una cuidadosa selección del hilo y controlando los procedimientos de tejeduría y acabado del tejido.

1.2.7 *Predicción de los cambios dimensionales a partir del desarrollo de un programa informático.*

En este estudio se desarrolla un programa informático que puede ayudar a las empresas textiles, desde la fabricación de tejidos hasta las etapas de producción de prendas de vestir, a resolver muchos problemas de los tejidos de punto (Souza y col. 2010).

El estudio se basa en el principio de que cada industria debe determinar sus propios factores K , calculándolos separadamente para cada una de las líneas de procesamiento. Por ejemplo, para el tejido crudo de algodón procesado en una línea de blanqueo a la continua, el estado de referencia puede diferir en comparación con el mismo tejido sometido a un proceso de blanqueo por agotamiento, incluso cuando estos tejidos se acaban en la misma línea de acabado. Por lo tanto, sus factores K difieren, dando al tejido diferentes combinaciones de peso por metro cuadrado, contracción y ancho. Por otro lado, cuando los tejidos de punto de algodón con la misma estructura y el mismo sistema de hilo se procesan a través del mismo sistema de tintura y acabado, tendrán el mismo factor K .

Los factores K son la base del sistema utilizado para predecir el rendimiento de los tejidos de punto y son constantes obtenidas a partir de datos empíricos medidos en el estado de referencia (Munden 1959). Para ello, se propone realizar una base de datos y cuanto mayor sea esta base de datos para obtener los valores K , mayor será la fiabilidad de las predicciones.

Este programa necesita de algunas variables como datos de entrada. Estas variables son:

- Factor de cobertura.
- Longitud de Malla.
- Título del hilo.
- Máquina de punto circular.

La selección de la máquina de punto circular estará limitada por la disponibilidad del fabricante. Pero para conocer la galga mínima que se puede utilizar con un título determinado de hilo se utilizará la ecuación Ecuación 1.27.

$$GG = \frac{100}{\sqrt{Tex}} \quad (1.27)$$

de donde:

GG: Galga.

Tex: Título del hilo en *Tex*.

La galga máxima se define generalmente como cinco puntos más que la mínima galga.

Una vez introducidos estos datos en el programa informático, este devuelve el valor de las constantes K y estas serán independientes de cada línea del proceso productivo.

1.2.8 *Influencia del secado en secadora en la estabilidad dimensional de los tejidos de punto por recogida.*

La estabilidad dimensional de los tejidos de punto por recogida durante su uso, tienen un efecto significativo en su calidad. Las características de la fibra, de la estructura del tejido utilizada, el patrón del tejido y las condiciones de los procesos tecnológicos influyen geométrica y dimensionalmente a la estabilidad dimensional de las prendas de género de punto producidas (Mikučionienė y Laureckienė 2009).

El secado en secadora de los tejidos de punto de algodón con estructura de punto liso, interlock y piqué, bajo un ciclo normal de secado, provocan encogimientos significativos en sentido longitudinal y transversal. Este encogimiento se ve aumentado drásticamente en las estructuras de punto liso y piqué a medida que su contenido en humedad desciende por debajo del 30 % (Higgins y col. 2003). La distorsión de los tejidos es menos acentuada cuando se utilizan programas de secado más suaves con menor agitación. Esto contribuye a obtener tejidos menos enviesados y con menor espiralidad. También hay que destacar que según el tipo de estructura tejida se tendrán efectos distintos en la estabilidad dimensional y en la distorsión durante el lavado. La estructura equilibrada de interlock y la estructura de piqué, ambas tienen un menor efecto de distorsión del tejido que la estructura de punto liso. La presencia de mallas cargadas en la estructura de piqué, reduce el porcentaje de encogimiento transversal comparados con las otras dos estructuras. Hay que decir que secando el tejido a temperatura de 22 °C causa niveles similares de encogimientos y distorsión que secándolos a 65 – 75 °C. Básicamente, el porcentaje de encogimiento longitudinal y al ancho en los tejidos de punto liso y piqué aumentan rápidamente a medida que la humedad baja del 20 %, tanto si le aplica calor

como si no. Cuando se elimina el volteo del tambor en la secadora, el encogimiento y la distorsión no aumenta, demostrando que la agitación mecánica producida por el volteo del tambor es la que mayor influencia tiene sobre la estabilidad dimensional y la distorsión de los tejidos de punto por recogida de algodón 100 %.

El potencial de encogimiento de los tejidos de punto depende de las condiciones de secado durante el procedimiento de acabado (Mikučionienė y Laureckienė 2009). Cuando en una secadora los tejidos de punto se encogen, posteriormente son los más estables en su vida útil. Los valores del encogimiento en sentido longitudinal y transversal de los tejidos secados en secadora, cumplen los siguientes requisitos después del primer ciclo de lavado y secado:

- Los tejidos de *punto liso* presentan un encogimiento en dirección longitudinal del 3,1 % y del -2,9 % en dirección transversal.
- Los tejidos de *interlock* presentan un encogimiento longitudinal del 3,1 % y transversal del -2,4 %.

Después del tercer ciclo de lavado y secado en secadora la estabilidad dimensional es la siguiente:

- Los tejidos de *punto liso* presentan un encogimiento en dirección longitudinal menor del 1 % y menor del -1 % en dirección transversal.
- Los tejidos de *interlock* presentan un encogimiento longitudinal del 2,6 % y transversal del -1,9 %.

Se puede concluir que el encogimiento de los tejidos de punto liso después de tres ciclos de lavado y secado fueron menores del -1 % debido a que la estructura de punto liso, que es una estructura única (formada únicamente por una fontura), el potencial de encogimiento cero se logra más rápido que en los tejidos de punto de estructura doble (cilindro y plato). Los tejidos de interlock, especialmente los tejidos con hilo de algodón/poliéster, se pueden caracterizar por unas dimensiones más estables que los tejidos de punto liso.

1.2.9 Conclusiones de Estado del Arte.

A través del análisis de la documentación más relevante encontrada sobre esta temática se puede concluir que:

- El control de las variables dimensionales durante todo el proceso productivo es de gran importancia para conseguir tejidos acabados estables dimensionalmente.
- Las ecuaciones de Munden, utilizadas para el cálculo de las constantes dimensionales K_c , K_w y K_r , han sido de gran importancia para el cálculo dimensional de los tejidos de punto por recogida. Pero para obtener el valor de las constantes K hay que conocer el valor de la *longitud de malla*. El procedimiento para su análisis es algo largo y engorroso, al mismo tiempo que se necesita de un equipo de medición del hilo que le aplique una cierta tensión al hilo que variará según la materia que se trate. Es por ello que sería necesario modelizar la variable *longitud de malla* para agilizar este cálculo.
- La presencia de elastómero en los tejidos de punto por recogida con estructuras de punto liso, 1x1 rib e interlock, modifican las características dimensionales de éstos reduciendo la longitud de malla.
- En los tejidos hidrofílicos de algodón el encogimiento de relajación es el experimentado en los tejidos cuando éstos se humedecen sin agitación. Posteriormente de esta relajación en húmedo, los tejidos presentan un encogimiento adicional durante los tratamientos de lavado que hacen retornar de forma gradual a su configuración estable libre de deformación, denominado encogimiento de consolidación. Munden concluye diciendo que las dimensiones estables pueden determinarse con precisión a partir del conocimiento de la longitud de malla.
- El proyecto Starfish es un ejemplo de un programa de investigación cuyo objetivo es predecir el encogimiento y la masa laminar de un tejido de punto. Para ello se necesita conocer un estado de referencia de relajación, una adecuada base de datos representativa de los tejidos que se desean analizar en el estado de referencia y unas ecuaciones que representen la variabilidad dimensional de los tejidos acabados.
- En los tejidos de punto por recogida es posible obtener encogimientos con valores menores del 3%, combinando una cuidadosa selección del hilo y controlando los procedimientos de tejeduría y acabado de ésta.

- Las constantes K serán independientes de cada línea del proceso productivo. Es por ello que para la predicción de los cambios dimensionales de los tejidos de punto a partir del desarrollo de un programa informático, se debe previamente calcular el valor de estas constantes K .
- El encogimiento de los tejidos de punto después de tres ciclos de lavado y secado fueron menores del -1 % debido a que el potencial de encogimiento cero en las estructuras de punto liso se logra más rápido que en los tejidos de estructura doble.
- Por otro lado, a la hora de producir un tejido de punto, la *longitud de malla* es una de las variables más importantes a controlar para garantizar unas características dimensionales óptimas del tejido acabado. Esta variable únicamente se puede modificar controlando el consumo de hilo a través de los alimentadores de cada máquina. Una pequeña variación de este parámetro puede dar lugar a la obtención de tejidos acabados con comportamientos dimensionales diferentes. Por lo tanto, un error en la variable *longitud de malla* en los tejidos que están en proceso de producción, daría una variación irreparable en el tejido producido. Se abre la puerta para encontrar la forma para conocer este variable de una forma más rápida.
- Se han encontrado una gran cantidad de estudios que proponen modelos para el cálculo de las variables dimensionales. La gran mayoría de ellos, proponen modelos para el cálculo de las variables dimensionales *pasadas*, *columnas* o *densidad de malla*, pero para su utilización, previamente se deben calcular sus propias constantes K propuestas por Munden, ya que los modelos propuestos dependen de estas constantes. Para ello, cada línea productiva debe de realizarse su propia base de datos para la obtención de estas constantes. Posteriormente, algunos de los investigadores proponen introducir estos modelos en un programa informático, agilizando el proceso de su obtención. Pero de todas formas, en la gran mayoría de ellos se debe conocer el valor de variables como la *longitud de malla*.

Se abre la puerta para la investigación del control de la variación dimensional durante todo el proceso productivo de una forma mucho más rápida sin depender de variables mucho más costosas de calcular o de las constantes de Munden K_c , K_w y K_r .

1.3 Hipótesis y objetivos

1.3.1 Hipótesis

Tras el análisis del estado del arte se plantean las siguientes hipótesis en esta tesis con la finalidad de dar solución al problema de la variación dimensional de los tejidos de punto que sufren durante todo su proceso productivo y que si no se corrigen, se transmitirá al tejido acabado en forma de encogimientos y deformaciones del artículo final al que vaya a ser destinado. Por lo tanto, las hipótesis que se plantean son las siguientes:

- Si se consigue predecir la *longitud de malla* de los tejidos de interlock, en los estados de relajación *DDR* y *DWR*, a partir de variables mucho más sencillas de calcular, como las *pasadas*, *columnas* o *densidad de malla*, se agilizarían en gran medida las constantes *K* que Munden propone en sus estudios.
- Si se demuestra que el procedimiento empleado en los tejidos de interlock para el cálculo de la *longitud de malla*, pudiera ser aplicable a las estructuras de 1x1 rib y punto liso, dicho avance se podría aplicar a todos los tejidos de punto.
- Si se pudiera predecir la variación dimensional de los tejidos de punto de interlock, 1x1 rib y punto liso sin necesidad de aplicar la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012, obteniendo su resultado a partir de modelos que utilicen variables dimensionales mucho más sencillas de calcular. Se conseguiría una reducción del proceso productivo evitando partidas inmovilizadas durante un tiempo relativamente elevado, y por consiguiente, ser más competitivos.

1.3.2 Objetivos

Vista la necesidad que urge en las empresas textiles de género de punto por recogida para agilizar el proceso de obtención de la variación dimensional de los tejidos de punto por recogida, se plantea el objetivo principal de esta tesis.

- **Predecir la variación dimensional de los tejidos de punto por recogida durante todo el proceso productivo sin necesidad de aplicar la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012, ob-**

teniendo su resultado a partir de modelos que utilicen variables dimensionales mucho más sencillas de calcular.

Este objetivo servirá para agilizar la toma de decisiones en los tratamientos del tejido para la obtención de un artículo acabado mucho más estable dimensionalmente, mejorando la calidad de éste.

A continuación se plantean unos objetivos específicos que van asociados al objetivo principal:

- **Analizar la documentación existente referente a las variaciones dimensionales de los tejidos de punto.**

Es esencial conocer los estudios realizados sobre esta temática para saber si el problema planteado ya se ha solucionado anteriormente y si es aplicable a la problemática existente en las empresas textiles de punto, o por lo contrario se debe de buscar una solución diferente a la planteada hasta la actualidad.

- **Definir la metodología que se va a aplicar para el análisis de las partidas de tejido.**

Se debe de definir las estructuras de tejido que se van a analizar, los hilos que se van a emplear, las condiciones de las máquina circulares, sí como los aparatos de laboratorio necesarios para su análisis.

- **Definir un sistema para la obtención de los datos y la formación de una base de datos.**

Es necesario realizar una toma de datos adecuada para obtener resultados de calidad que puedan aportar la máxima información. También hay que tener en cuenta la facilidad para la obtención de datos sin necesidad de ocasionar molestias en el proceso productivo.

- **Depuración de la base de datos.**

Eliminar las observaciones que no contribuyan a explicar el comportamiento de la variación dimensional de los géneros de punto mediante técnicas de análisis, contribuye a eliminar los casos atípicos procedentes de errores en la toma de datos.

- **Analizar las características descriptivas de las variables.**

Describir las características de las variables de forma univariante.

- **Seleccionar la técnica de análisis.**

Elegir de entre las técnicas de análisis las más apropiadas.

- **Determinar la relación existente entre las diferentes variables que influyen en la variación dimensional y en la longitud de malla de los tejidos de punto tubulares por recogida.**

De entre todas las variables analizadas se tienen que seleccionar las que mejor expliquen la variabilidad de la estabilidad dimensional y de la longitud de malla.

- **Determinar modelados para la predicción de la longitud de malla y la variación dimensional.**

Calcular con la ayuda de un software estadístico los distintos modelados estadísticos que puedan predecir la *longitud de malla* y la *variación dimensional*.

- **Validar los modelos matemáticos con nuevos datos.**

Hay que recopilar nuevos datos cuya finalidad es la detección de los incumplimientos de los supuestos del modelo e identificación de las observaciones que son casos atípicos de la variable dependiente.

- **Implantar estos modelos en una empresa de fabricación de tejidos de punto tubular.**

La finalidad de la implantación de los modelos propuestos será la de optimizar el proceso productivo al mismo tiempo que se garantizará la calidad de los tejidos propuestos.

1.4 Estructura de la tesis

Esta tesis doctoral está basada en la publicación de tres artículos que se incluyen en el Anexo A. La estructura de esta tesis está dividida en siete capítulos y dos anexos. Cada capítulo se explica de forma resumida a continuación.

- **Capítulo 1: Introducción.** En este capítulo se explica la problemática que tienen las empresas de género de punto en los controles de la variación dimensional de estos tejidos. Se hace un estado del arte de esta temática y se enuncian las hipótesis y los objetivos de este estudio.
- **Capítulo 2: Metodología.** En este capítulo se describe todos los materiales, máquinas, aparatos de laboratorio y procesos a utilizar en esta investigación. También se enuncian las técnicas estadísticas empleadas.
- **Capítulo 3: Modelización de la longitud de hilo absorbido por una malla sobre tejidos de interlock.** Este capítulo hace referencia al Experimental y los Resultados obtenidos, aportando unos modelos que predicen la longitud de malla de los tejidos de interlock en cada uno de los estados de relajación propuestos.
- **Capítulo 4: Modelización de la longitud de hilo absorbido por una malla sobre los tejidos de 1x1 rib y punto liso.** En este capítulo se enuncia el Experimental y los resultados obtenidos, para los tejidos de 1x1 rib y punto liso, para el cálculo de la longitud de malla en cada uno de los estados de relajación propuestos.
- **Capítulo 5: Cálculo del encogimiento de los tejidos de punto a partir de la forma de la malla.** Las variaciones dimensionales en cada uno de los estados de relajación propuestos son calculados en este capítulo, para los tejidos de punto de interlock, 1x1 rib y punto liso.
- **Capítulo 6: Discusión general de los resultados.** En este capítulo se enuncian la discusión de los resultados obtenidos en esta tesis.
- **Capítulo 7: Conclusiones.** En este capítulo se enuncian las conclusiones obtenidas en esta tesis.

Capítulo 2

Metodología

En este capítulo se definen las materias utilizadas para la fabricación de los tejidos necesarios en esta investigación y el proceso productivo necesario para la obtención de éstos. También se indicarán las variables que se van a analizar de cada tejido y las técnicas empleadas de análisis estadístico.

2.1 Materiales

En este apartado se enumerarán los materiales necesarios para la fabricación de los tejidos que se van a utilizar en esta investigación.

Los hilos utilizados para la fabricación de los tejidos se indican en la tabla 2.1. Las fichas técnicas de cada hilo se adjuntan en el anexo .

Tabla 2.1: Hilos a utilizar en la fabricación de los tejidos a ensayar.

Título (Tex)	Especificación	Composición	Cód. Tejidos
11,8	Peinado	100 % Algodón	1x1B
19,7	Peinado	100 % Algodón	Inter1;Inter2;Inter3
21,9	Peinado	100 % Algodón	1x1A;1x1B
2,2	Elaspan	100 % elastano	1x1B

2.2 Procesos productivos

El proceso productivo de los tejidos que se van a fabricar para su estudio se representa en la figura 2.1.

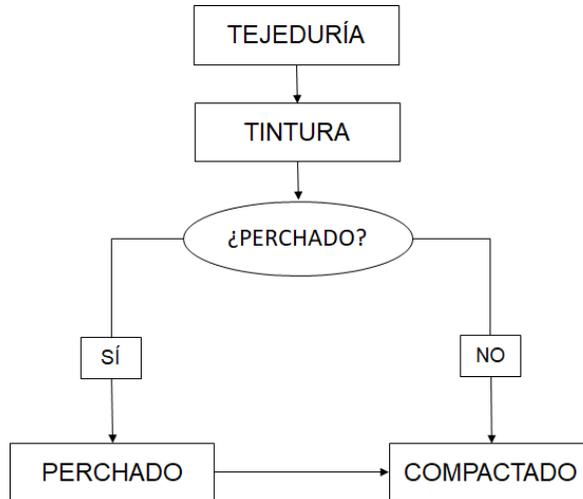


Figura 2.1: Diagrama del proceso productivo utilizado para la producción de los tejidos utilizados en este estudio

2.2.1 Tejeduría

En este apartado se indicarán las máquinas circulares utilizadas para la producción de los tejidos analizados.

El estudio se ha centrado sobre tejidos de punto por trama en tubular de pequeño diámetro. Estos tejidos se caracterizan por su forma cilíndrica, siendo su evolución helicoidal. El resultado es la obtención de tejidos de forma cilíndrica de longitud limitada a nuestra conveniencia, formando, así pues, piezas de tejido. Estos tipos de tejidos son ideales para la fabricación de prendas sin costuras laterales.

Por lo tanto, cada diámetro de máquina será utilizado para la elaboración de una talla determinada de un artículo, siendo necesarios varios diámetros de máquinas para poder surtir todo el tallaje de un artículo determinado. En la figura 2.2 se muestra una máquina circular de una sección de tejeduría.



Figura 2.2: Máquina circular de pequeño diámetro modelo Mayer FV 2.0

Los tipos de máquinas circulares utilizadas para la producción de los tejidos utilizados en este estudio son:

- Máquinas de **punto liso** o “**single jersey**”. Son máquinas de una fontura o cilindro. En la figura 2.3 se han desmontado dos juegos de la máquina y en éstos se puede observar unos planos inclinados denominados levas. Las levas son las responsables de accionar las agujas en su desplazamiento. Cada juego de la máquina va provisto de levas de formación de malla y de bajada. Las levas de formación son móviles, siendo las responsables de la variación de longitud de la malla. Las levas de bajada sitúan la aguja en su posición más baja. En la parte superior del cilindro existe un lecho fresado que es donde se ubican las platinas. Las platinas se accionan por medio de unas levas que provocan un movimiento de éstas en el plano horizontal a la máquina. Su función básica es la de sostener el tejido durante la formación de la malla. En la figura 2.4 se observa el movimiento de las agujas y las platinas en el ciclo de formación de la malla. Cuando la aguja está en su posición más alta, la platina se sitúa en la posición más cercana a la aguja y viceversa. El guiahilos debe garantizar el ángulo necesario de entrada del hilo a la aguja, evitando la escapada de éste y por lo tanto, la formación de una carrera. En la figura 2.5 se muestran el modelo de agujas de lengüeta y platinas utilizadas en ésta máquina.



Figura 2.3: Máquina circular de una fontura modelo Mayer MV4 II

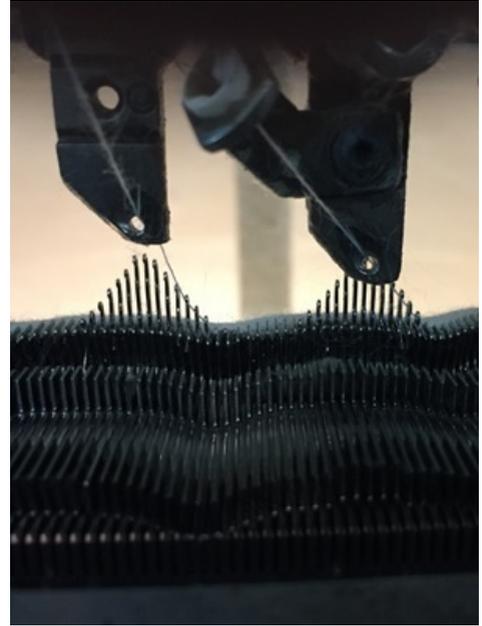


Figura 2.4: Formación de malla de la máquina circular de una fontura modelo Mayer MV4 II

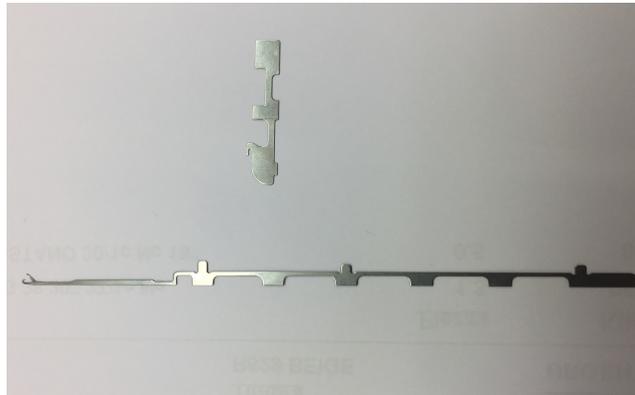


Figura 2.5: Aguja y platina utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer MV4 II

Las máquinas que se van a utilizar para la fabricación de los tejidos se muestran en la tabla 2.2

Tabla 2.2: Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos de punto liso utilizados en esta investigación.

Modelo	Diámetro	Galga	Agujas	Alimentadores
Mayer MV4 II	17	E22	1176	54
Mayer MV4 3,2	18	E22	1248	57
Mayer MV4 II	22	E22	1512	69
Mayer MV4 II	24	E22	1656	78

- Máquinas de punto inglés. Estas máquinas son de cilindro y plato. Presentan un lecho fresado sobre el cilindro alojando las agujas en posición vertical. Al mismo tiempo, en un plano horizontal se sitúa el plato, que es un lecho fresado donde se ubican las agujas en posición horizontal. Las agujas del cilindro en su posición de trabajo se entrecruzan con las agujas del plato y viceversa, formando entre ellas un ángulo de 90 grados. En la figura 2.6, para su mejor visualización, se han desmontado de la máquinas un juego del cilindro y otro del plato. Se aprecia cómo las levas del cilindro son diferentes a las del plato, pero en ambos las levas de formación son móviles y las de bajada fijas. En la figura 2.7 se puede apreciar cómo se entrecruzan agujas de cilindro y de plato de forma alterna. De esta forma el guiahilos alimenta a agujas de cilindro y de plato de forma alterna, obteniendo un tejido resultante de 1x1 rib. En la figura 2.8 se muestran las agujas de lengüeta utilizadas en el cilindro y en el plato de la máquina Mayer FV 2.0. Las agujas más pequeñas corresponden con las ubicadas en el plato mientras las más grandes se ubican en el cilindro.

Las máquinas que se van a utilizar para la fabricación de los tejidos de 1x1 rib y 1x1 rib vanisados se muestran en la tabla 2.3 y 2.4 respectivamente.

Tabla 2.3: Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos de 1x1 rib utilizados en esta investigación.

Modelo	Diámetro	Galga	Agujas	Alimentadores
Mayer FV 2.0	14	E16	2X708	29
Jumberca DVI	16	E16	2x804	32
Jumberca DVI	18	E16	2x900	36
Mayer FV 2.0	20	E16	2x1008	40

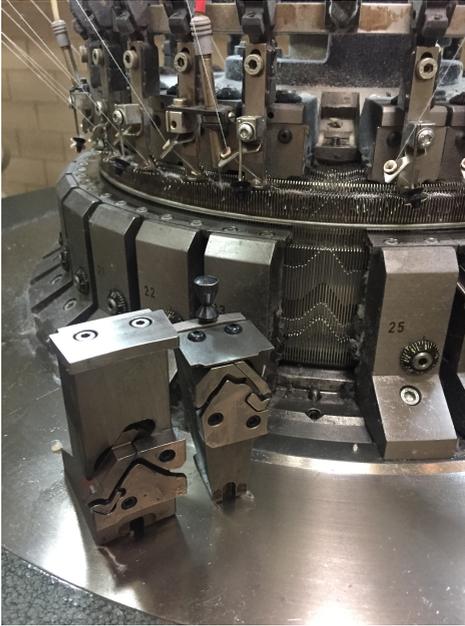


Figura 2.6: Máquina circular de punto inglés modelo Mayer FV 2.0

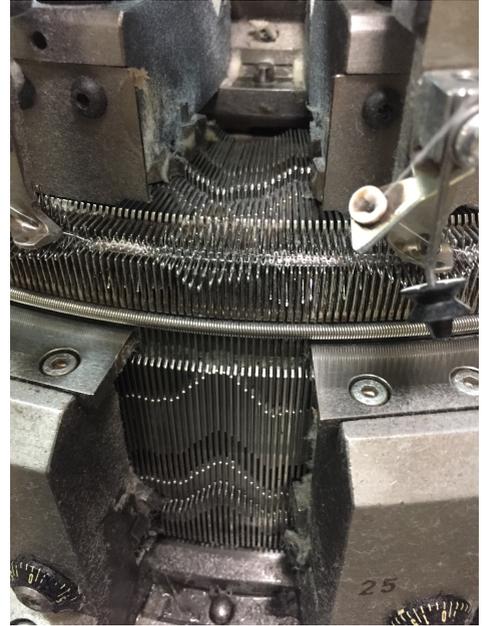


Figura 2.7: Formación de malla de la máquina circular de punto inglés modelo Mayer MV4 II

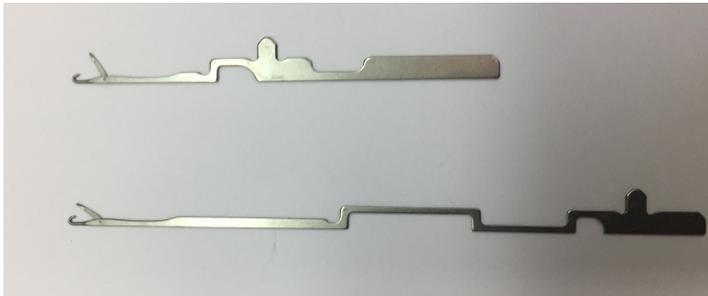


Figura 2.8: Agujas utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer FV 2.0

Tabla 2.4: Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos 1x1 rib vanisados con elastómero utilizados en esta investigación.

Modelo	Díámetro	Galga	Agujas	Alimentadores
Mayer FV 2.0	16	E18	2x804	32
Mayer FV 2.0	18	E18	2X1008	36

- Máquinas de interlock. Este tipo de máquinas, al igual que las de punto inglés, están formadas por un cilindro y un plato, pero con la diferencia que las agujas del cilindro y del plato se enfrentan unas a otras formando un ángulo de 90 grados. Es por este motivo que una aguja de cilindro no puede trabajar al mismo tiempo que trabaja su homóloga del plato ya que chocarían. En los juegos de cilindro desmontados en la figura 2.9 se observan en cada uno de ellos dos levas, una en la parte inferior y otra en la parte superior. Las levas de la parte inferior accionan las agujas de talón bajo del cilindro, mientras las levas de la parte superior accionan las agujas de talón alto. Lo mismo ocurre con las levas de plato. En la figura 2.10 se observa el ciclo de formación de la malla. Se puede apreciar el dibujo que han formado los talones de las agujas. Las agujas de talón bajo realizan el camino de formación de malla, mientras las de talón alto no trabajan entre esos juegos. Las levas de plato realizarán el trabajo inverso. En la figura 2.11 se muestran las agujas utilizadas en este tipo de máquina. Las agujas más largas corresponden con las ubicadas en el cilindro, mientras que las más cortas se ubican en el plato. Hay que observar que tanto en las agujas de cilindro como de plato se diferencia dos tipos de agujas, talón bajo y alto.

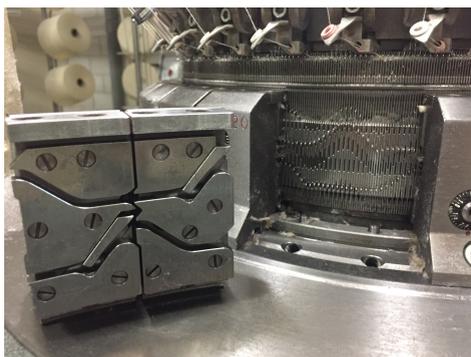


Figura 2.9: Máquina circular de interlock modelo Mayer IHG II



Figura 2.10: Formación de malla de la máquina circular de interlock modelo Mayer IHG II

Las máquinas que se van a utilizar para la fabricación de los tejidos de interlock se muestran en la tabla 2.5

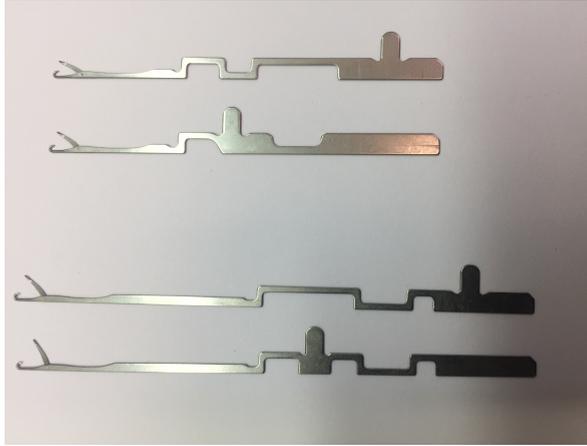


Figura 2.11: Agujas utilizadas para la formación de la malla en la máquina circular modelo Mayer IHG II

Tabla 2.5: Máquinas circulares utilizadas para la fabricación de los tejidos con estructura de interlock T1, T2, T3.

Modelo	Diámetro (")	Galga	Agujas	Alimentadores
Mayer IHG II	12	E20	2X756	20
Mayer IHG II	14	E20	2X876	36
Jumberca DVK	16	E20	2X1008	32
Mayer IHG II	17	E20	2X1056	32
Jumberca DVK	18	E20	2x1128	36
Mayer IHG II	20	E20	2x1260	40
Jumberca DVK	22	E20	2x1380	44
Jumberca DVK	24	E20	2x1512	48
Mayer OV 3,2 QC	30	E20	2x1872	96

Estos tejidos se cortan a la salida de la máquina circular a una medida determinada formando piezas. La longitud de las piezas se controla por el número de vueltas que da la máquina, siendo este parámetro el que se programa para que pare la máquina una vez alcanzado el valor deseado. De esta forma se garantiza que todas las piezas tengan las mismas dimensiones. Al conjunto de piezas realizadas con el mismo lote de hilo y que se agrupan formando lotes de 400 kg. se le denomina partida, siendo ésta la unidad mínima indivisible para

realizar los tratamientos posteriores en tintura o ennoblecimiento del tejido.

2.2.2 Tintura

El proceso de tintura por agotamiento es el utilizado para este tipo de tejido. Se caracteriza porque el colorante está disuelto en el baño de tintura y se fija en la materia textil como consecuencia de una transferencia del colorante del baño al substrato textil que se produce por las fuerzas de afinidad entre colorante y materia textil a teñir.

Estos sistemas y máquinas de tintura se caracterizan por producirse una disminución de la cantidad de colorante del baño de tintura (agotamiento), y un aumento de la concentración de éste en el substrato textil. Las máquinas utilizadas para la tintura de los tejidos a analizar son las Overflow.



Figura 2.12: Vista de una máquina de tintura por cuerda MultiflowI

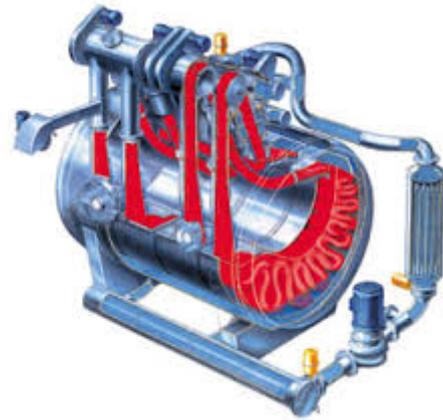


Figura 2.13: Esquema de una máquina Multiflow modelo MCSI

Estas máquinas se diferencian del jet de tintura en que el tejido es traccionado por una devanadera, la cual deposita el tejido en una cubeta a la que fluye el baño de tintura mediante un rebosadero alimentado por una bomba.

En este tipo de máquina, la bomba sólo transporta el baño de tintura desde la barca al rebosadero. Por tanto, la acción mecánica que ejerce sobre el tejido es mucho menor que en el jet de tintura consiguiendo menores estirajes del tejido. La tintura se efectúa por las sucesivas veces que el baño de tintura atraviesa la materia a teñir en forma de cuerda.

Procesos de tintura por agotamiento utilizados

Los procesos de tintura utilizados en esta investigación se describen a continuación:

- Descrudado y blanqueo óptico para los tejidos de algodón 100 %.**
 La curva de tintura, así como la relación de los productos utilizados se indican en el gráfico 2.14 y tabla 2.6.

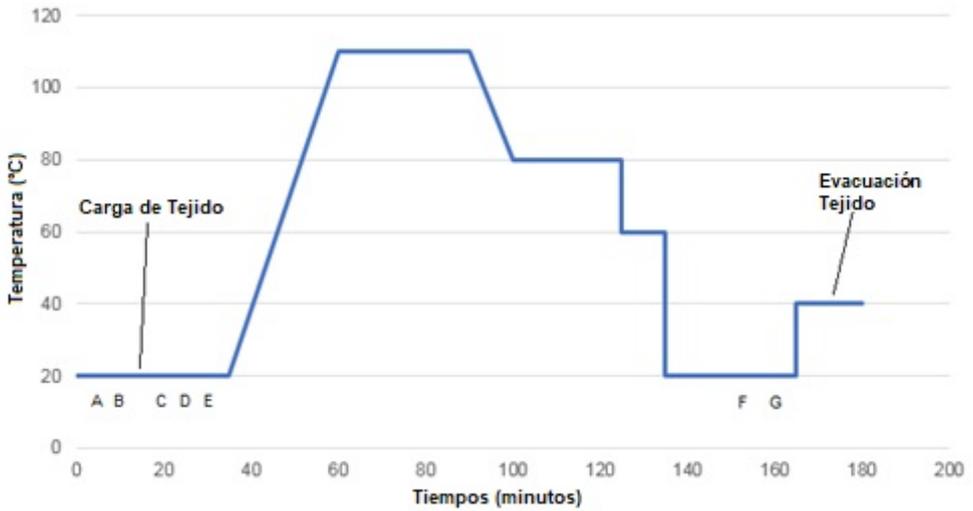


Figura 2.14: Curva de tintura del blanqueo óptico para los tejidos de algodón 100 %.

Tabla 2.6: Productos utilizados en el blanqueo óptico del algodón.

Proceso	Producto
A	Tannex Noveco
B	Procuest ND
C	Sosa Cáustica Líquida
D	Agua Oxigenada
E	Ledeblanc
F	Violeta BTE Dianix
G	Ácido Fórmico

- Descrudado y blanqueo óptico para los tejidos de algodón-elastano.**
 La curva de tintura y los productos auxiliares utilizados se enuncian en el gráfico 2.15 y tabla 2.7.

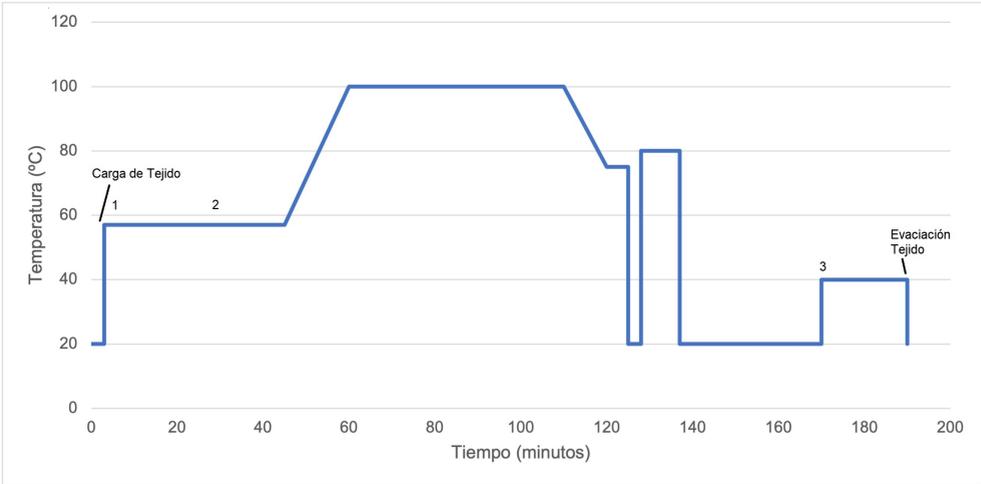


Figura 2.15: Curva de tintura del blanqueo óptico para los tejidos de algodón-elastano.

Tabla 2.7: Productos utilizados en el blanqueo óptico del algodón-elastano.

Proceso	Producto
1	% Sosa Cáustica % Agua oxigenada % Estabilizador H_2O_2
2	% Ópticos
3	% Suavizantes

- **Descrudado, blanqueo químico y tintura en color negro con colorantes reactivos.** La curva de tintura y los productos auxiliares se enuncian en el gráfico 2.16 y tabla 2.8.
- **Descrudado, blanqueo químico y tintura en color visón y natural con colorantes reactivos.** la curva de tintura y los productos auxiliares se citan en el gráfico 2.17 y tabla 2.9.

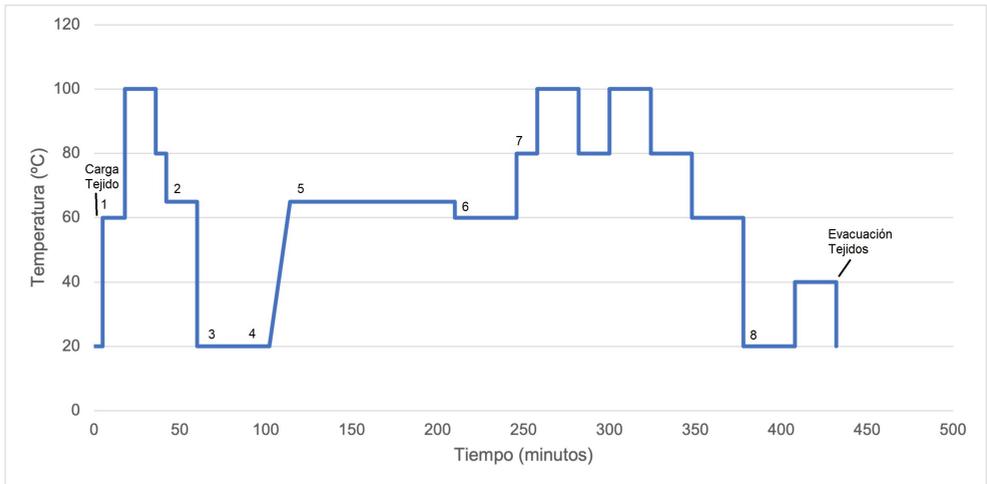


Figura 2.16: Curva de tintura del descruado, blanqueo químico y tintura en color negro con colorantes reactivos.

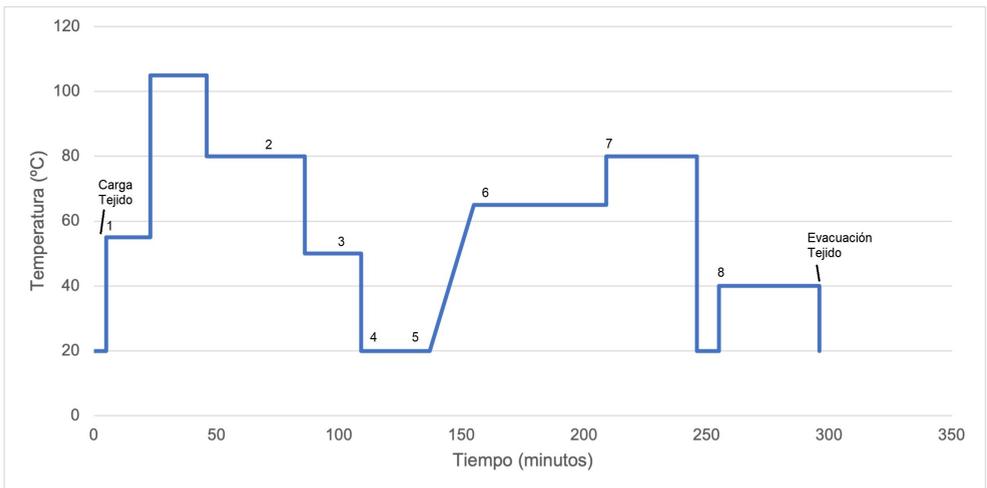


Figura 2.17: Curva de tintura del descruado, blanqueo químico y tintura en los colores visón y natural con colorantes reactivos.

2.2.3 Perchado

El perchado consiste en el frotamiento del tejido con elementos cuya superficie se encuentra recubierta de púas. Con este proceso de acabado físico, se desfi-

Tabla 2.8: Productos utilizados en el proceso de tintura del color negro en algodón-elastano.

Proceso	Producto
1- Descrudado	% Detergente no iónico G/L. Carbonato sódico
2- Neutralizado	c.c./L. Ác. acético
3- Tintura	% Dispersante % Secuestrante % Lubricante % Sal
4- Tintura	% Colorantes reactivos
5- Tintura	G/L. Carbonato sódico
6- Neutralizado	c.c./L. Ác. Fórmico
7- Jabonado	c.c./L. Dispersante c.c./L. Secuestrante
8- Suavizado	% Suavizantes catiónicos % Siliconas c.c./L. Ácido $pH = 5$

bran los hilos de la superficie del tejido, disimulando el ligamento y confiriéndole una mayor suavidad, aumento es espesor y apariencia vellosa del tejido. En la figura 2.18 se muestra un modelo de máquina perchadora utilizada para el perchado del género de punto tubular.

El objetivo del perchado sobre los tejidos estudiados es el proporcionar un aislamiento térmico debido al espesor del pelo perchado en la capa exterior del tejido. El perchado se ha realizado sobre la capa interna del tejido la cual está en contacto con la piel.

El perchado se efectúa en las máquinas perchadoras. Éstas disponen de un tambor, rodillos perchadores, un sistema de limpieza y rodillos de control de la tensión del tejido. El tambor es un cilindro de un metro aproximadamente de diámetro en cuya periferia dispone de rodillos perchadores, provistos de guardaciones formadas por púas metálicas fijadas sobre ellos y que son encargadas de levantar el pelo de la superficie del tejido.

Tabla 2.9: Productos utilizados en el proceso de tintura de los colores visón y natural en algodón-elastano.

Proceso	Producto
1- Blanqueo	% Sosa cáustica
	% Agua oxigenada
	% Estabilizador H_2O_2
2- Neutralizado H_2O_2	% Neutralizador (Prod. 321)
3- Neutralizado $NaOH$	% Ác. acético
4- Tintura	% Secuestrante
	% Lubricante
	% Dispersante
	% Sal
5- Tintura	% Colorantes reactivos
6- Tintura	G/L. Carbonato sódico
7- Jabonado	% Jabón dispersante
8- Suavizado	% Suavizantes catiónicos
	% Siliconas

Las guarniciones se colocan en dos direcciones: a pelo y a contrapelo. El efecto del perchado dependerá de los sentidos de marcha y de las velocidades del tejido, del tambor y de los rodillos perchadores.

Manteniendo constantes las velocidades del tejido y el tambor, la intensidad del perchado dependerá de la velocidad de los cilindros perchadores. Los rodillos a pelo tendrán mayor efecto cuando menor sea la velocidad de ellos. Los rodillos a contrapelo tendrán mayor efecto cuanto mayor sea la velocidad de ellos.

2.2.4 Compactado

El proceso de compactado es un tratamiento físico cuyo objetivo es “comprimir” las mallas mediante un efecto mecánico para que después del lavado y secado, el tejido así tratado presente el mínimo encogimiento posible. La compactadora es la máquina utilizada para este fin. En las figuras 2.19 y 2.20 se



Figura 2.18: Máquina utilizada para el perchado de género de punto tubular

muestra la máquina compactadora empleada para realizar esta operación.

Esta máquina está equipada con dos cámaras de vapor y dos unidades de fieltros. Para proporcionar mayor compactación en las dos caras del tejido, se ha incorporado junto a los dos fieltros, un tejido de teflón anclado a una barra y cuya longitud fija hace frenar al tejido acompañado por los fieltros, consiguiendo una mayor contracción de la malla y por lo tanto, tejidos más estables dimensionalmente.

El compactado depende de los siguientes ajustes:

- El porcentaje de ensanchamiento al nivel del ensanchador.
El ajuste del ensanchador al calandrado es muy importante. Este debe ajustarse en función de la anchura deseada a la salida de la máquina y dependerá de la estabilidad dimensional determinada mediante los tests de lavado.
- El porcentaje de sobrealimentación al nivel de los alimentadores.
La sobrealimentación del tejido en la máquina tiene que ser ajustada para que el tejido sea depositado en el plegado sin pliegues ni tensión.



Figura 2.19: Vista delantera de una compactadora de género de punto tubular modelo Heliot HC 95 PI



Figura 2.20: Vista trasera de una compactadora de género de punto tubular modelo Heliot HC 95 PI

- El valor de compresión de los tapices fieltros.
El porcentaje de compactado será mayor cuanto mayor compresión ejerzan los tapices fieltros sobre el tejido.

- La longitud de las telas de teflón en contacto con el tejido.
A mayor longitud de las telas de teflón en contacto con el tejido, mayor compactado de éste.

- La presión de aire comprimido influye sobre la tensión de los tapices fieltros. Esta presión es ajustable y le proporcionará mayor compactado a medida que aumente esta presión.

- La temperatura de los cilindros.

- La cantidad de vapor liberada al nivel de la caja de vaporizado.

2.3 Estructuras de tejidos

Los tejidos de punto por trama o recogida son los seleccionados para su estudio en esta investigación. Éstos se caracterizan porque la evolución general de todos o la mayor parte de los hilos que forman sus mallas es horizontal.

2.3.1 *Punto liso*

Este tipo de tejido está realizado en una sola fontura por agujas contiguas, siendo, a igualdad de densidad, todas las mallas iguales. Presenta una diferencia entre el haz y el envés del tejido ya que en el haz se visualizan los laterales de malla y en el envés los arcos de malla y entremalla. En la figura 2.22 se representa mediante un diagrama de mallas y agujas este tejido, mientras que en la figura 2.21 se representa la cara del derecho del tejido de punto liso.

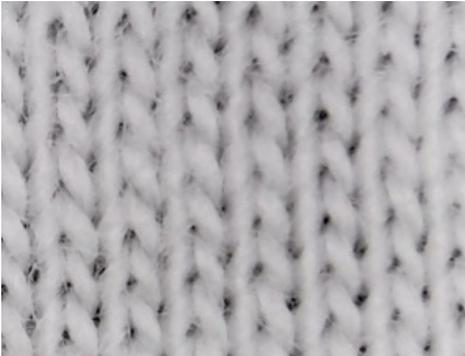


Figura 2.21: Haz del tejido de punto liso de algodón 100% después del proceso de tintura.

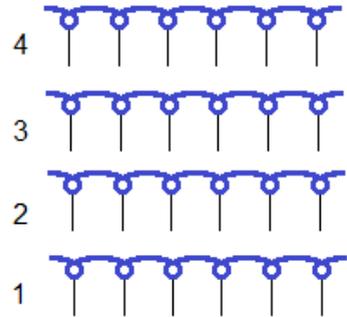


Figura 2.22: Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de punto liso.

2.3.2 *1x1 rib*

Este tipo de estructura está tejida por todas las agujas de las dos fonturas de cilindro y de plato. Para su formación, tal y conforme se puede observar en la figura 2.24, se alterna una aguja de cilindro con una de plato, formando un tejido con una secuencia de una malla del derecho y consecutivamente una del revés. Se obtiene un tejido como el de la figura 2.23. La apariencia del tejido formado es idéntica tanto en el derecho como en el revés del tejido. Por consiguiente, se puede decir que es un tejido que no tiene derecho ni revés.

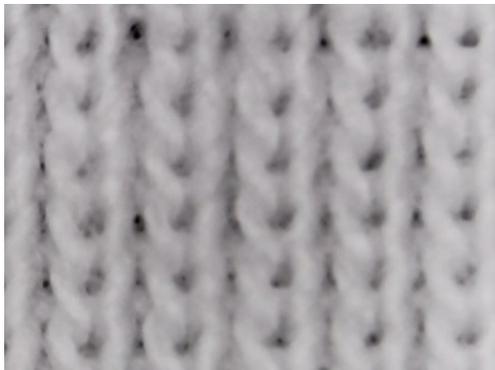


Figura 2.23: Tejido de 1x1 rib de algodón 100% después del proceso de tintura.

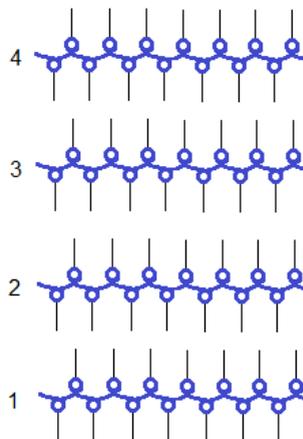


Figura 2.24: Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de 1x1 rib.

2.3.3 *Interlock*

Este tipo de estructura se caracteriza porque las agujas que forman las mallas del cilindro están enfrentadas con sus homólogas del plato, de tal forma, que una aguja de cilindro no puede trabajar simultáneamente con su homóloga del plato ya que chocarían. Se puede observar en la figura 2.26 que la secuencia de las agujas de trabajo es alterna. O sea, en la primera pasada, las agujas de trabajo del cilindro son las agujas impares, mientras que en el plato trabajan las pares, mientras que en la segunda pasada ocurre lo contrario. Esta secuencia de trabajo de las agujas da como resultado el tejido de la figura 2.25. Este tejido resultante es idéntico tanto en el derecho como en el revés. Por tanto, se puede decir que no tiene ni derecho ni revés.

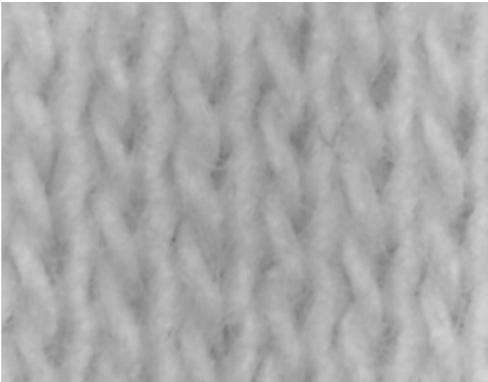


Figura 2.25: Tejido de interlock de algodón 100 % después del proceso de tintura.

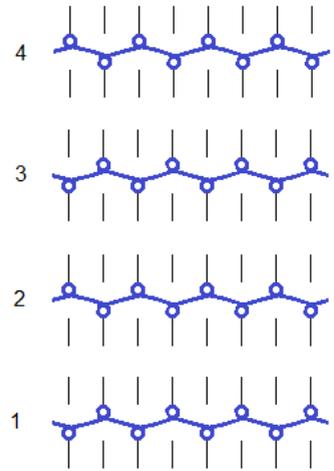


Figura 2.26: Representación mediante un diagrama de mallas y agujas del tejido de interlock.

2.4 Aparatos de laboratorio necesarios para el análisis de los tejidos

2.4.1 Lavadora normalizada.

La lavadora se utiliza para determinar las variaciones dimensionales al lavado doméstico según la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012. La lavadora de referencia utilizada para el análisis de los tejidos es la que se muestra en la figura 2.27, siendo una lavadora de Tipo A, tambor horizontal y carga frontal.



Figura 2.27: Lavadora normalizada modelo Electrolux Wascator FOM71MP utilizada para el análisis de los tejidos utilizados en esta investigación

2.4.2 Cuentahilos

El cuentahilos se utiliza para calcular la densidad de malla, pasadas y columnas de cada uno de los tejidos analizados. En la figura 2.28 se muestra un cuentahilos y un punzón, utilizado este último para facilitar el recuento de la densidad de malla.



Figura 2.28: Cuentahilos utilizado para el análisis de la densidad de malla

2.4.3 *Dispositivo de corte troquel para gramajes*

El dispositivo de corte con una superficie de corte de 100 cm^2 , capaz de efectuar cortes con una exactitud de $\pm 1\%$, se muestra en la figura 2.29. Pesando la superficie cortada obtenida se obtendrá la masa laminar del tejido.



Figura 2.29: Cortaprobetas utilizado para el análisis del tejido en esta investigación

2.4.4 *Balanza de precisión*

Se utiliza para el cálculo de la masa laminar de un tejido y la masa lineal de un hilo. La precisión es de 1 mg. La figura 2.30 se muestra la balanza utilizada.



Figura 2.30: Balanza de precisión utilizada en el análisis del tejido en esta investigación

2.4.5 *Aparato de medida de longitud de un hilo*

Para la medición de la longitud de un hilo se ha utilizado un Mestex. Como se puede observar en la figura 2.31, el Mestex consta de unas pinzas para fijar firmemente los extremos del hilo, un mecanismo para aplicar la tensión justa al hilo y una escala graduada de medida en divisiones de 1 mm dispuesta entre las pinzas que sujetan el hilo.



Figura 2.31: Aparato utilizado para la medición de la longitud de un hilo

2.5 Variables analizadas

Las variables analizadas para esta tesis doctoral se enumeran a continuación.

- **Pdas/cm (P)**. Se define como la fila de mallas que se encuentran a lo largo de la anchura de un tejido de punto en un centímetro de tejido. Para su análisis se sigue el procedimiento según la norma UNE-EN 14971.
- **Columnas/cm (C)**. Es el número de hileras de mallas que se encuentran en sentido transversal del tejido. Para su cálculo se utiliza la norma UNE-EN 14971.
- **Densidad de malla (DM)**. Se obtiene calculando el producto entre las pasadas y columnas por centímetro. Para ello se sigue el procedimiento de la norma UNE-EN 14971.
- **Masa laminar (G)**. Es la masa de una superficie conocida y se expresa en gramos por metro cuadrado. El procedimiento seguido para su cálculo es la norma UNE-EN 12127.
- **Longitud de malla (LM)**. Se define como la longitud de hilo que forma una malla de un tejido de punto. Para su cálculo se utiliza la norma UNE-EN 14970. Hay que destacar que para su medida el hilo debe tener una tensión adecuada, ya que éste ha estado formando parte del tejido y presenta, por regla general, ondulaciones que no desaparecen cuando el hilo es sacado del tejido, y por lo tanto, pueden falsear el análisis si no se tiene esta precaución.
- **Alto de malla (Y)**. Esta variable representa la longitud de la malla en sentido longitudinal. Para su cálculo se aplica la inversa de la variable *Pdas/cm*.
- **Ancho de malla (X)**. Representa el ancho de la malla en sentido transversal y su valor se obtiene calculando la inversa de la variable *Columnas/cm*.

Las variables enunciadas anteriormente se han representado en la figura 2.32.

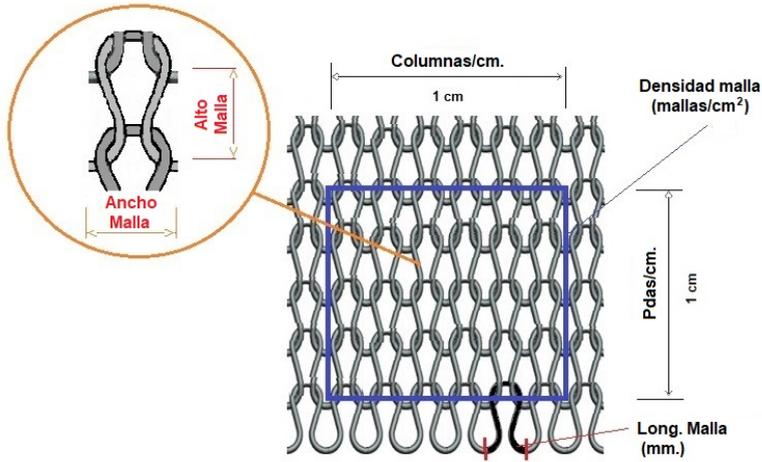


Figura 2.32: Representación esquemática sobre una estructura de punto de las variables Pdas/cm, columnas/cm, densidad de malla, masa laminar, longitud de malla, alto de malla y ancho de malla.

- **Ancho Tejido (A).** Se define como la medida del tejido en sentido transversal midiendo desde un lomo de la pieza hasta su opuesto. Para su medición, se coloca el tubular en una superficie plana, evitando cualquier arruga del tejido, formando dos planos superpuestos totalmente planos pero unidos entre sí por los extremos del tejido o lomos. La medida del ancho de la pieza corresponderá con la mitad de la longitud de la circunferencia que forma el tejido tubular.
- **Densidad lineal de un hilo (T).** Genéricamente se conoce como título del hilo. Se define como la masa por unidad de longitud del hilo. Para su cálculo se aplica la norma UNE-EN 14970.
- **Peso de 1 malla (P_{1M}).** Para su cálculo se debe conocer el peso de la longitud de hilo absorbido por las mallas que se han formado en una longitud conocida de tejido en sentido transversal. El cociente del peso obtenido del hilo absorbido por las mallas formadas en la longitud de tejido conocida, entre el número de mallas que se han formado en esa longitud de hilo, será el peso de una malla.
- **Estabilidad dimensional al lavado en sentido longitudinal (%L).** Indica la variación dimensional porcentual en sentido longitudinal de un

tejido en un estado de relajación determinado. Para su cálculo se utiliza la norma UNE-EN ISO 5077.

- **Estabilidad dimensional al lavado en sentido transversal (%A).** Representa la variación dimensional porcentual en sentido transversal de un tejido en un estado de relajación determinado. La UNE-EN ISO 5077 es la utilizada para su obtención.
- **Factor de cobertura o compresión “tightness factor” (FC)** . El factor de cobertura indica la tensión relativa de una estructura de género de punto. Determina si el tejido de punto está muy apretado o flojo. Se define con la Ecuación 2.1.

$$FC = \frac{\sqrt{Tex}}{LM} \quad (2.1)$$

Tex: Título del hilo en Tex .

LM: Longitud de malla en mm .

- **Kc.** Constante de Munden que mantiene una relación entre la longitud de malla y los cursos o pasadas por centímetro. Se representa en la Ecuación 2.2.

$$K_c = P \cdot LM \quad (2.2)$$

P: Cursos o pasadas por centímetro.

LM: Longitud de malla en mm .

- **Kw.** Constante de Munden que mantiene una relación entre las columnas por centímetro y la longitud de malla. Se representa en la Ecuación 2.3.

$$K_w = C \cdot LM \quad (2.3)$$

C: Columnas por centímetro.

LM: Longitud de malla en mm .

- **Kr.** Constante de Munden que mantiene una relación entre las pasadas y las columnas. Se representa en la Ecuación 2.4.

$$K_r = \frac{K_c}{K_w} \quad (2.4)$$

2.6 Técnicas de análisis

A modo introductorio se puede indicar que el Análisis Exploratorio de Datos es la técnica utilizada para la descripción de los datos, la detección de posibles datos anómalos y conocer la naturaleza de éstos. Con esta técnica se genera una perspectiva o actitud sobre el análisis de datos, en la que incita a que el investigador adopte una actitud activa en el análisis para la obtención de nuevas hipótesis de trabajo.

2.6.1 *Introducción al Análisis Exploratorio de Datos*

Hay que señalar tres fases de la investigación empírica que corresponden a la estadística:

- La recogida de datos (muestreo). Se debe de lograr una muestra adecuada de la población a la que se desee extrapolar las conclusiones que se obtengan de muestra.
- La organización, descripción y representación gráfica de los datos (Fase descriptiva) para hacerlos más comprensibles a nuestra mente.
- Los procesos de inferencia de parámetros (Fase inferencial), con objeto de estimar, con una cierta probabilidad, características poblacionales (parámetros) a partir de las características de la muestra (estadísticos), así como diversas pruebas estadísticas para el contraste de las hipótesis de partida.

El análisis exploratorio de datos (EDA) ha posibilitado la creación de una serie de representaciones gráficas de los datos. Los diagramas de “Tallos y Hojas” o de “Caja y Bigotes” son muy apropiados para apreciar rápidamente la estructura y distribución de los datos y que facilitarán el poder optar por el empleo de los estadísticos descriptivos más representativos para los mismos.

Los autores del enfoque de EDA suelen diferenciar dos fases en el análisis estadístico: la Fase Exploratoria y la Fase confirmatoria (Hartwig y Dearng, 1979).

- En la **Fase Exploratoria** la forma de una distribución es como mínimo tan importante como su localización (tendencia central) y dispersión. Las representaciones visuales son superiores a las representaciones numéricas

para descubrir la forma característica de una distribución. Si en la distribución de los datos se observa una marcada asimetría, no es correcto utilizar la media como índice de tendencia central, o si en la distribución se observan extremos en ambos lados de la distribución no es adecuado emplear la Desviación Típica como índice de dispersión.

El EDA recomienda iniciar su análisis con la realización de gráficos que permitan visualizar su estructura. Por ejemplo, para datos cuantitativos se recomienda comenzar con el denominado diagrama de “Tallo y Hojas” o “Caja y Bigotes”. Con tales técnicas se pretende detectar su estructura subyacente, así como la existencia de anomalías o patrones no previstos en los mismos.

Los resultados obtenidos de la **Fase Exploratoria** determinarán de modo importante qué otras técnicas podrán ser empleados para examinar un conjunto de datos.

- En la **Fase Confirmatoria** se analizan los datos de manera que evalúen la reproductibilidad de los efectos observados (Hoaglin, Mosteller y Tukey, 1983).

Lo primero que hay que observar es cuál es el estimador adecuado para extrapolar las características de la muestra de la población. Para ello hay dos estrategias a en el análisis EDA:

- Utilizar estadísticos resistentes ante la existencia de sesgo en la distribución o la presencia de datos atípicos.
- Modificar la forma de la distribución para conseguir la simetría mediante una transformación sencilla de los datos. Así si se consigue una distribución simétrica, se obtiene una descripción más simple de sus características y se puede utilizar la media y desviación típica, es decir, los estadísticos más utilizados por la inferencia estadística.

En resumen, la **Fase Exploratoria** enfatiza la búsqueda flexible de evidencia, mientras que la **Fase Confirmatoria** acentúa la evaluación/contraste de la evidencia disponible (Hoaglin, Mosteller y Tukey, 1983).

2.6.2 *Análisis Exploratorio de Datos con R*

El programa utilizado en esta investigación para el análisis de datos es R. Se caracteriza por ser un entorno de software libre utilizada para la computación gráfica y estadística, ya que dispone de una amplia variedad de técnicas estadísticas. Se utiliza en todas las fases del análisis de datos:

- Adquisición de datos de fuentes disponibles: bases de datos, archivos de texto, etc.
- Preparación de datos: Eliminación de duplicados, valores extremos, etc.
- Análisis de datos: Construcción de modelos predictivos, de clasificación, de agrupamiento.
- Comunicación de los resultados: Realización de informes para la presentación de los resultados y conclusiones.
- Aplicación de los resultados obtenidos: Utilización de modelos predictivos desarrollados para en función de una serie de datos históricos predecir ciertas salidas.

Las características y diferentes aplicaciones de R, unido a que es un software libre, lo convierten en una herramienta básica para los análisis de datos.

Las técnicas utilizadas en EDA dentro del entorno de R se describen a continuación:

- Resúmenes estadísticos, como el conteo o número de mediciones, cálculo de la media y la mediana, error o desviación típica/estándar o cálculo del mínimo y máximo.
- Distribuciones de frecuencia o histogramas. Se obtienen gráficos de barras con la distribución de la frecuencia.
- Percentiles y Boxplot. Se utilizan para medir la distribución acumulada. La **Mediana** divide a la distribución en dos, el **Cuartil** divide a la distribución en cuatro, Q_1, Q_2, Q_3 corresponden al 25 %, 50 % y 75 % y el **Percentil** divide a la distribución en cien. El gráfico Boxplot o de cajas y bigotes representa de una forma muy visual la mediana al centro del gráfico, los cuartiles Q_1 y Q_3 , ya que el Q_2 corresponde con la mediana y

si existieran puntos atípicos aparecerían representados en los bigotes del gráfico.

- **Correlación.** Representa asociación o dependencia. Puede ser causal o no. La correlación no implica causalidad. Para identificar la correlación se puede hacer mediante tablas (matriz de correlación) y gráficos (gráficos de puntos a pares o gráficos de matriz de correlación).
- **Modelos de regresión.** La regresión lineal es un método de análisis apropiado cuando se tiene una variable métrica dependiente que se supone que está relacionada con una o más variables métricas independientes. El objetivo de éste análisis es predecir los cambios en la variable dependiente en respuesta a cambios en una o varias variables independientes. Este objetivo se consigue muy a menudo a través de la regla estadística de los mínimos cuadrados. Esta herramienta puede ser útil cuando se requiere predecir la cantidad o magnitud de la variable dependiente.

El modelo de regresión lineal simple tiene la siguiente expresión:

$$y = a + bx \tag{2.5}$$

y: Variable dependiente.

x: Variable independiente.

a: Término de interceptación.

b: Pendiente de la recta.

Modelización de la longitud de hilo absorbido por una malla sobre tejidos de interlock

Registro bibliográfico

- **Autores.** Jorge Llinares Berenguer, Pau Miró i Martínez, Pablo Díaz-García.
- **Título.** Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, wales and courses per centimetre analysis.
- **Revista.** The Journal of The Textile Institute.
- **Año publicación.** 2020.

En este capítulo se define el procedimiento para el cálculo de la longitud del hilo absorbido por una malla en los tejidos de punto por recogida con estructura de interlock.

Una de las variables que hay que conocer en un tejido de punto para explicar las variaciones dimensionales en sus diferentes estados de relajación que se da a lo largo de todo el proceso productivo es la longitud de hilo que forma una malla, denominada **longitud de malla**. Para su cálculo experimental se requiere de un proceso bastante largo teniendo que identificar para ello: el sentido de los cursos, sentido de destejer la muestra, recuento del número de mallas existentes en una longitud de tejido, separación y medición del hilo con la utilización de un equipo de medida específico y replicar esto diez veces, según norma UNE-EN 14970. Para todo este proceso y dependiendo del tipo de estructura a analizar, se puede invertir en su cálculo un tiempo relativamente largo. Por ello, en este estudio se propone un sistema de cálculo con la intención de simplificar el proceso, para lo cual se ha modelizado la longitud de hilo absorbido por una estructura de interlock estimando, así pues, la longitud de malla sin necesidad de realizar este proceso tan laborioso.

3.1 Experimental

3.1.1 Descripción del proceso de fabricación del tejido

La densidad lineal del hilo utilizado para la fabricación de los tres tejidos (T1, T2, T3) sobre estructura de interlock es 30 Ne de algodón peinado. Las máquinas utilizadas para la realización de las piezas se indican en la tabla 2.5.

Para el desarrollo del estudio se han fabricado 15 piezas, de peso no superior a 15 Kg., de cada tejido (T1, T2, T3), formando un total de 405 piezas, utilizando las máquinas indicadas en la tabla 2.5. La diferencia entre los tres tejidos producidos en cada una de los diámetros de máquinas es la longitud de malla. Se han obtenido tejidos cuya media de longitud de malla en T3 de 0,323 cm, en T1 de 0,331 cm y en T2 de 0,356 cm., después del proceso de tejeduría. Posteriormente, todas las muestras se han sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta obtener una masa constante. El promedio, desviación típica y el intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas después del proceso de tejeduría, estado de relajación *KDR*, para cada tipo de tejido se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, después del proceso de tejeduría.

Tejido	Variable	Estado de Relajación DDR		
		\bar{x}	s_i	IC
T1	P	27,4	0,4128	[27, 2; 27, 6]
	C	11,7	0,3750	[11, 5; 11, 9]
	DM	321,8	8,7182	[317, 1; 326, 4]
	G	216,4	4,3756	[214, 0; 218, 7]
	LM	0,341	0,0088	[0, 336; 0, 345]
	TF	13,032	0,3394	[12, 851; 13, 213]
	K_c	9,34	0,3062	[9, 18; 9, 51]
	K_w	4,00	0,1191	[3, 94; 4, 06]
	K_r	2,34	0,0181	[2, 32; 2, 36]
T2	P	23,6	0,6418	[23, 4; 23, 9]
	C	11,9	0,6002	[11, 7; 12, 2]
	DM	281,9	13,7145	[276, 6; 287, 2]
	G	198,7	7,3539	[185, 8; 201, 5]
	LM	0,365	0,0123	[0, 360; 0, 370]
	TF	12,166	0,4046	[12, 010; 13, 323]
	K_c	8,62	0,3527	[8, 48; 8, 76]
	K_w	4,36	0,1855	[4, 29; 4, 43]
	K_r	1,98	0,0327	[1, 96; 1, 98]
T3	P	27,4	0,8550	[27, 0; 27, 7]
	C	11,7	0,4235	[11, 5; 11, 9]
	DM	320,6	12,1910	[315, 4; 325, 7]
	G	214,2	8,3617	[210, 6; 217, 7]
	LM	0,339	0,0099	[0, 335; 0, 344]
	TF	13,085	0,3804	[12, 934; 13, 245]
	K_c	9,30	0,4394	[9, 11; 9, 49]
	K_w	3,97	0,1440	[3, 91; 4, 03]
	K_r	2,34	0,0238	[2, 32; 2, 36]

Posteriormente, las partidas se someten a un proceso de tintura por agotamiento en máquina. Las condiciones de tintura a productos añadidos se indican en la figura 2.14 y tabla 2.6.

Una vez realizada la hidroextracción y posterior secado de las paridas, se identifican las piezas a analizar, cogiendo una muestra de ellas y sometiéndolas a una atmósfera de acondicionamiento.

Se han diferenciado dos estados de relajación de los tejidos T1, T2 y T3 después del proceso de tintura:

- *Tintura y relajación en seco (DDR)*. El tejido tintado se le ha sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta obtener una masa constante.
- *Tintura y relajación en húmedo (DWR)*. El tejido tintado y acondicionado hasta obtener una masa constante, se somete a un análisis de estabilidad dimensional, según norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012, procedimiento 4N.

El promedio, desviación típica y el intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas después del proceso de tintura para cada tipo de tejido, en los estados de relajación *DDR* y *DWR* se muestran en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2: Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, en el estado de relajación DDR.

Tejido	Variable	Estado de Relajación DDR		
		\bar{x}	s_i	IC
T1	P	27,4	1,6821	[27, 1; 27, 7]
	C	14,5	0,5668	[14, 4; 14, 6]
	DM	396,8	24,5142	[392, 9; 400, 7]
	G	251,3	8,7335	[249, 9; 252, 6]
	LM	0,331	0,0082	[0, 330; 0, 333]
	TF	13,40	0,3297	[13, 35; 13, 46]
	K_c	9,08	0,5728	[8, 99; 9, 17]
	K_w	4,80	0,1785	[4, 79; 4, 83]
	K_r	1,89	0,0446	[1, 88; 1, 90]
T2	P	24,6	0,7250	[24, 4; 24, 7]
	C	14,2	0,4743	[14, 0; 14, 3]
	DM	348,2	13,8521	[345, 2; 351, 3]
	G	239	6,4395	[237, 5; 240, 4]
	LM	0,356	0,0082	[0, 354; 0, 358]
	TF	12,46	0,2937	[12, 39; 12, 52]
	K_c	8,76	0,3417	[8, 68; 8, 83]
	K_w	5,05	0,1497	[5, 02; 5, 08]
	K_r	1,73	0,280	[1, 72; 1, 74]
T3	P	26,9	1,1133	[26, 7; 27, 0]
	C	14,8	0,6837	[14, 7; 14, 9]
	DM	397,1	25,818	[393, 4; 400, 9]
	G	247,9	6,7973	[246, 9; 248, 9]
	LM	0,323	0,0135	[0, 321; 0, 325]
	TF	13,77	0,5381	[13, 69; 13, 85]
	K_c	8,67	0,3677	[8, 62; 8, 73]
	K_w	4,76	0,1531	[4, 74; 4, 78]
	K_r	1,82	0,3677	[8, 65; 8, 69]

Tabla 3.3: Resultado experimentales de los tejidos T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.

Tejido	Variable	Estado de Relajación DWR		
		\bar{x}	s_i	IC
T1	P	29,2	1,4390	[28, 9; 29, 4]
	C	13,7	0,5071	[13, 6; 13, 8]
	DM	398,5	24,9974	[394, 6; 402, 5]
	G	262,4	11,3890	[260, 6; 2564, 2]
	LM	0,331	0,0118	[0, 329; 0, 333]
	TF	13,42	0,4622	[13, 35; 13, 49]
	K_c	9,65	0,3996	[9, 58; 9, 71]
	K_w	4,52	0,2007	[4, 49; 4, 55]
	K_r	2,13	0,0446	[2, 12; 2, 14]
T2	P	26,2	0,9654	[25, 9; 26, 4]
	C	13,4	0,4457	[13, 3; 13, 5]
	DM	351,8	19,474	[347, 5; 356, 1]
	G	251,8	7,0314	[250, 2; 253, 3]
	LM	0,356	0,0097	[0, 354; 0, 358]
	TF	12,47	0,3459	[12, 39; 12, 54]
	K_c	9,33	0,3888	[9, 24; 9, 42]
	K_w	4,78	0,1615	[4, 75; 4, 82]
	K_r	1,95	0,0446	[1, 94; 1, 96]
T3	P	29,3	0,9965	[29, 2; 29, 4]
	C	14,2	0,4957	[14, 1; 14, 2]
	DM	415,3	22,2876	[412, 1; 418, 6]
	G	261,7	7,0671	[260, 6; 262, 8]
	LM	0,319	0,0097	[0, 317; 0, 320]
	TF	13,95	0,4254	[13, 88; 14, 01]
	K_c	9,33	0,3470	[9, 28; 9, 38]
	K_w	4,51	0,1526	[4, 49; 4, 53]
	K_r	2,07	0,0208	[2, 06; 2, 08]

3.2 Resultados y discusión

Una vez realizado el análisis de los tejidos T1, T2 y T3 para las variables en los estados de relajación *DDR* y *DWR*, se pretende ver la relación existente entre éstas y obtener modelos que puedan predecir la longitud de malla (*LM*). Los modelos obtenidos por regresión lineal se muestran en las tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4: Modelos propuestos mediante regresión lineal para cada tejido T1, T2, T3, en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,208244 \cdot C}$	99,862
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,109768 \cdot P}$	99,907
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00758624 \cdot DM}$	99,678
T2	LM	C	$LM = \frac{1}{0,197885 \cdot C}$	99,913
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,114132 \cdot P}$	99,842
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00805089 \cdot DM}$	99,8591
T3	LM	C	$LM = \frac{1}{0,209966 \cdot C}$	99,897
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,115291 \cdot P}$	99,827
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00077963 \cdot DM}$	99,829

Tabla 3.5: Modelos propuestos mediante regresión lineal para cada tejido T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,221106 \cdot C}$	99,806
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,103499 \cdot P}$	99,835
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00756708 \cdot DM}$	99,748
T2	LM	C	$LM = \frac{1}{0,209063 \cdot C}$	99,887
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,107122 \cdot P}$	99,828
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00796533 \cdot DM}$	99,730
T3	LM	C	$LM = \frac{1}{0,221546 \cdot C}$	99,886
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,107166 \cdot P}$	99,862
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,0075501 \cdot DM}$	99,791

De los modelos propuestos en las tablas 3.4 y 3.5 se puede predecir, a partir del conocimiento de las variables independientes *cusos/cm* (P), *columnas/cm* (C) y *densidad de malla* (DM), la variable *longitud de malla* (LM) para cada tejido T1, T2, T3 estudiados. Todos estos modelos tienen un R^2 que supera en casi todos ellos el 99%, dando una explicación de la variabilidad muy buena a partir de la linealidad existente con las variables independientes C , P y DM . Los modelos de regresión lineal ajustados para el tejido T3 se representan en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3.

En las tablas 7.2 y 7.3 se han propuesto unos modelos genéricos para los tres tejidos (T1, T2 y T3) y que perfectamente pueden utilizarse para predecir la variable LM , ya que explican la variabilidad de forma óptima obteniendo un R^2 del orden del 98%.

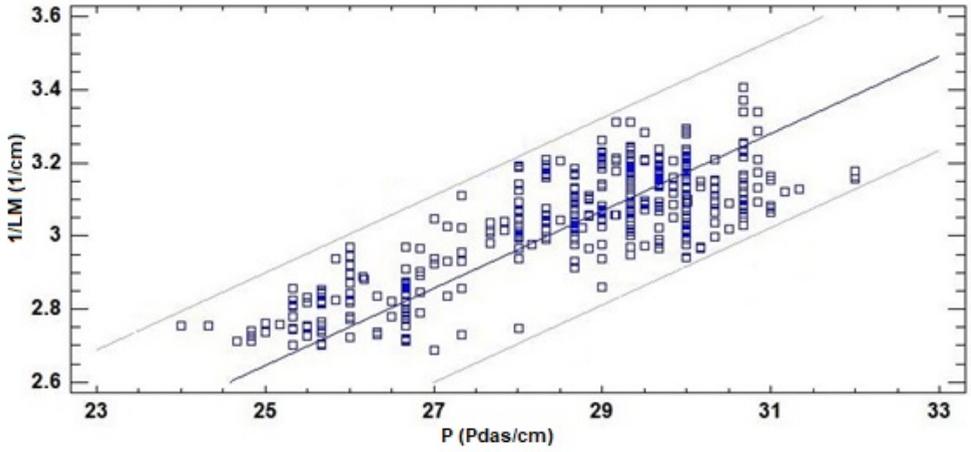


Figura 3.1: Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y las pasadas/cm para el estado de relajación DWR.

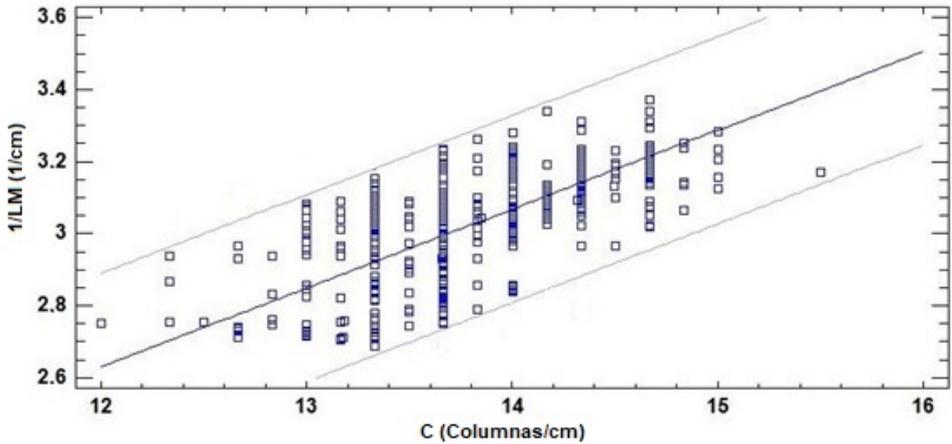


Figura 3.2: Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y las columnas/cm para el estado de relajación DWR.

Para comprobar la validez de los modelos obtenidos se han validado todos ellos, analizando un conjunto de partidas con representación de cada uno de los diámetros y de cada una de las partidas en los estados de relajación *DDR* Y *DWR*. Posteriormente, mediante los modelos obtenidos se calculan los valores

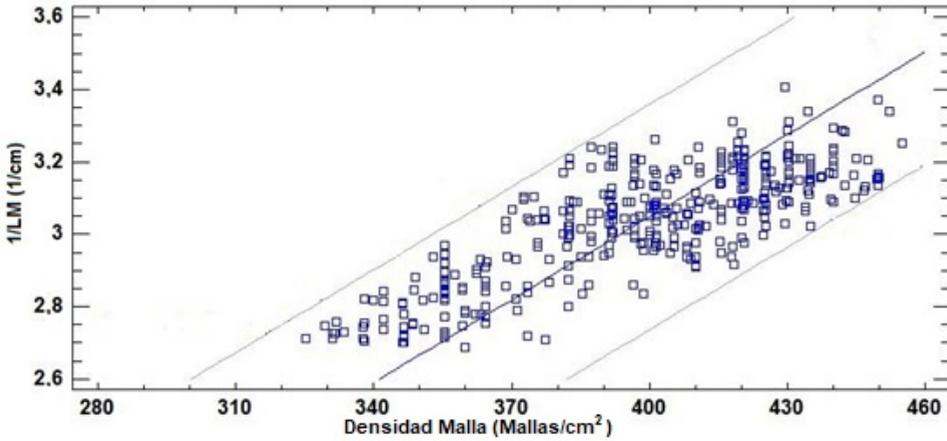


Figura 3.3: Gráfico del modelo de regresión lineal ajustado del tejido T3 que describe la relación entre la inversa de la longitud de malla y la densidad de malla para el estado de relajación DWR.

Tabla 3.6: Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR	
			Relación lineal	R^2
	LM	C	$LM = \frac{1}{0,207142 \cdot C}$	99,841
T1;T2;T3	LM	P	$LM = \frac{1}{0,112946 \cdot P}$	99,698
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00775448 \cdot DM}$	99,737

estimados. El error estimado será la diferencia entre el valor estimado y el valor real. Los errores estimados de los modelos propuestos para cada variable se resumen en la tabla 3.8.

Tabla 3.7: Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1;T2;T3	LM	C	$LM = \frac{1}{0,21914 \cdot C}$	99,812
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,105759 \cdot P}$	99,818
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,0075501 \cdot DM}$	99,791

Tabla 3.8: Resumen de los errores estimados cometidos por los modelos propuestos, para cada tejido (T1, T2, T3) para la estimación de la longitud de malla.

Tejido	V.D	V.I.	Estados de Relajación			
			DDR		DWR	
			Error estimado	s_i	Error estimado	s_i
T1	LM	C	0,004	0,003	0,012	0,006
	LM	P	0,016	0,005	0,015	0,004
	LM	DM	0,016	0,003	0,015	0,009
T2	LM	C	0,020	0,009	0,022	0,005
	LM	P	0,010	0,010	0,009	0,012
	LM	DM	0,015	0,011	0,020	0,010
T3	LM	C	0,013	0,010	0,012	0,011
	LM	P	0,012	0,004	0,005	0,004
	LM	DM	0,010	0,009	0,009	0,005

Se observa en la tabla 3.8 cómo los errores estimados cometidos, cuando se utilizan los modelos propuestos para cada tejido analizado, son errores muy pequeños. Es por ello que se llega a la conclusión que dichos modelos representan de forma muy eficaz la variabilidad de cada uno de los tejidos propuestos.

Tabla 3.9: Resumen de los errores estimados cometidos por los modelos genéricos propuestos para la estimación de la longitud de malla.

Tejido	V.D	V.I.	Estados de Relajación			
			DDR		DWR	
			Error estimado	s_i	Error estimado	s_i
T1;T2;T3	LM	C	0,012	0,010	0,013	0,008
	LM	P	0,011	0,007	0,010	0,008
	LM	DM	0,014	0,010	0,014	0,009

En la tabla 3.9 se resumen los errores estimados cometidos cuando se utilizan los modelos genéricos propuestos para la estimación de la *longitud de malla*. Los errores cometidos utilizando estos modelos son, en determinados casos, algo superiores a los propuestos en la tabla 3.8, pero no dejan de ser también muy pequeños. Por lo tanto, se llega a la conclusión que estos modelos también pueden llegar a representar la variabilidad de todos los tejidos conjuntamente propuestos de forma eficaz.

3.3 Conclusiones

En este estudio se han propuesto unos modelos de regresión lineal en las tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7, que nos ayudan a predecir la longitud de malla conociendo únicamente alguna de las siguientes variables: pasadas/cm, columnas/cm y densidad de malla, en los estados de relajación *DDR* y *DWR* sin necesidad de aplicar la norma UNE-EN 14970, procedimiento algo engorroso. De esta forma se evita realizar las operaciones de identificación de las pasadas, sentido de destejer la muestra, cortar a lo largo una columna, recuento del número de mallas en una longitud determinada, separación del hilo del tejido, fijación en las pinzas del equipo de medida previniendo la pérdida de torsión para la medición de su longitud, y replicar esto 10 veces para posteriormente calcular su medida.

Se ha modelizado la longitud de malla de tres tejidos con estructura de interlock, con longitudes de malla diferentes, después del proceso de tintura, mediante unos modelos de regresión lineal que se indican en las tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7. Una vez validados se puede observar que los errores estimados cometidos cuando se utilizan los modelos propuestos, tanto los particulares para cada tejido propuesto como los genéricos, son errores muy pequeños. Es por

ello que se llega a la conclusión que dichos modelos representan de forma muy eficaz la variabilidad de cada uno de los tejidos propuestos.

Una vez validados los modelos propuestos, se demuestra que éstos son aptos para el uso en el cálculo de la *longitud de malla* en los tejidos propuestos a partir únicamente del conocimiento de alguna de las variables *pasadas/cm*, *columnas/cm* y *densidad de malla*.

Determinación de la longitud de malla en los tejidos de 1x1 rib y punto liso.

Registro bibliográfico

- **Autores.** Jorge Llinares Berenguer, Pau Miró i Martínez, Pablo Díaz-García.
- **Título.** Determining the loop length during knitting and dyeing processes
- **Revista.** Textile Research Journal.
- **Año publicación.** 2020.

En este capítulo se define el procedimiento para el cálculo de la longitud del hilo absorbido por una malla en los tejidos de punto por recogida con estructura de 1x1 rib y punto liso.

La longitud de malla es una de las variables más importantes a controlar en la producción de un tejido de punto, ya que de ella depende en gran medida las características finales del tejido acabado. El procedimiento utilizado para su cálculo, basado en la norma UNE-EN 14970, es algo engorroso, requiriendo tiempo y un equipo de medición del hilo. En este estudio se han investigado varias estructuras de punto liso y 1x1 rib producidos con títulos de hilo distintos en algodón 100 % y una estructura de 1x1 rib de algodón vanisado con elastano en cursos alternados. Se definen cuatro estados de relajación de los tejidos distintos, dos en tejeduría (*Tejeduría y relajación en seco* y *Tejeduría y relajación por lavado*) y dos en tintura (*Tintura y relajación en seco* y *Tintura y relajación por lavado*). Se han caracterizado las variables dimensionales más significativas en cada uno de los estados de relajación propuestos y posteriormente se han propuesto modelos que expliquen la variabilidad de la longitud del hilo absorbido por una malla a partir de otras variables mucho más sencillas de analizar.

4.1 Experimental

4.1.1 Materiales y Métodos

El presente estudio se ha realizado sobre tejidos de punto con estructura de 1x1 rib y punto liso. Las máquinas circulares utilizadas para la realización de los tejidos de punto liso figuran en la tabla 2.2, las utilizadas en la fabricación de los tejidos de 1x1 rib figuran en la tabla 2.3 y para los tejidos de 1x1 rib vanisados figuran en la tabla 2.4.

Este estudio se ha realizado sobre un total de 440 partidas. Cada partida está formada por 20 piezas de tejido de un peso de 20 kg. cada una. En cada partida se ha identificado una pieza con la finalidad de no perder su trazabilidad y poder realiar su análisis durante todo el proceso productivo. De esta forma, se han estudiado 200 piezas con estructura de 1x1 rib y 240 piezas con estructura de punto liso.

En la estructura de 1x1 rib se han obtenido dos tipos diferentes de tejidos, un tejido con hilo de algodón de título 26,96 Ne y el segundo con 30,26 Ne. Se han producido de cada uno de los tejidos, veinte piezas de cada diámetro de máquina (14", 16", 18" y 20"), obteniendo un total de 80 piezas producidas con hilo 26,96 Ne y 80 piezas con hilo 30,26 Ne.

En la estructura de 1x1 rib cuya composición es de 95/5 (algodón/elastano), se ha utilizado un título de algodón 50,24 Ne vanisado con un elastómero de título 22 dTex en las agujas del plato en cursos alternos, produciendo 20 piezas de cada uno de los diámetros de máquina seleccionados (16" y 18") obteniendo un total de 40 piezas.

Para la estructura de punto liso se han producido tejidos de título 26,96 Ne, 30,26 Ne y 37,39 Ne, utilizando los diámetros de máquina (17", 18", 22" y 24"). Se han obtenido un total de 80 piezas de cada uno de los hilos utilizados (correspondientes a 20 piezas de cada uno de los diámetros).

Se han diferenciado dos estados de relajación de los tejidos después del proceso de tejeduría:

- **Tejeduría y relajación en seco (KDR).** Una vez producido el tejido se le ha sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta obtener una masa constante.
- **Tejeduría y relajación por lavado (KWR).** El tejido acondicionado hasta obtener una masa constante, se somete a un análisis de estabilidad dimensional según norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012, procedimiento 9N.

Hay que tener en cuenta que en el proceso de relajación *KWR* no se aplica sobre un tejido descrudado, ya que en este proceso no se elimina la peptina del algodón y por lo tanto la fibra continua teniendo un comportamiento hidrófobo. Pero sí que se consigue eliminar las tensiones acumuladas durante el proceso de tejeduría, consiguiendo un estado de mínima energía sobre el tejido no descrudado. Este estado de relajación puede ser utilizado como un estado intermedio entre el *KDR* y el obtenido después del proceso de tintura, ayudando así pues a predecir las propiedades dimensionales del tejido final acabado.

Las piezas identificadas de cada partida se han sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta obtener una masa constante. Posteriormente se han cortado dos muestras de cada pieza de tejido para su análisis en los estados de relajación *KDR* y *KWR*. Este análisis consiste en determinar el número de mallas por unidad de longitud y unidad de área (pasadas por centímetro, columnas por centímetro y densidad de malla) según norma UNE EN 14971, determinar la masa laminar según norma UNE-EN 14970 y los factores K_c , K_w y K_r , aplicando las ecuaciones de Munden (ecuaciones 1.7, 1.8 y 1.9).

El promedio, desviación típica e intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas de 1x1 rib con hilos de título 26,96 Ne, 30,26 Ne de algodón 100 % y 50,24 Ne de algodón 50,24 Ne vanisado con elastómero 22 dTex., en cursos alternos en las agujas del plato, para los estados de relajación *KDR* y *KWR* se muestran en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente.

Tabla 4.1: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en los estados de relajación KDR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación KDR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96Ne CO	P	16,75	0,52	[16, 63; 16, 88]
	C	18,14	0,92	[17, 92; 18, 36]
	DM	303,73	15,50	[300, 04; 307, 43]
	G	176,95	9,48	[174, 69; 179, 21]
	LM	0,275	0,009	[0, 272; 0, 277]
	TF	17,08	0,64	[16, 93; 17, 23]
30,26Ne CO	P	16,16	0,58	[16, 04, 16, 28]
	C	18,60	1,33	[18, 33; 18, 87]
	DM	300,49	23,98	[295, 60; 305, 37]
	G	156,19	18,08	[152, 51; 159, 88]
	LM	0,277	0,011	[0, 274; 0, 279]
	TF	16,02	0,92	[15, 83; 16, 21]
50,24Ne + 22dTex CO/EA	P	18,88	1,47	[18, 33; 19, 43]
	C	25,74	0,86	[25, 42; 26, 07]
	DM	484,97	25,24	[474, 55; 494, 40]
	G	154,65	4,31	[153, 03; 156, 26]
	LM	0,275	0,008	[0, 272; 0, 278]
	TF	12,47	0,38	[12, 33; 12, 61]

Tabla 4.2: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en los estados de relajación KWR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación KWR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96Ne CO	P	20,07	0,46	[19, 96; 20, 18]
	C	24,25	0,24	[24, 19; 24, 31]
	DM	486,67	12,57	[483, 67; 489, 67]
	G	285,69	4,62	[284, 59; 286, 79]
	LM	0,271	0,005	[0, 270; 0, 272]
	TF	17,16	0,41	[17, 06; 17, 26]
30,26Ne CO	P	20,35	0,56	[20, 24; 20, 47]
	C	24,72	0,74	[24, 57; 24, 87]
	DM	503,41	24,97	[498, 32; 508, 50]
	G	263,15	6,84	[261, 75; 264, 54]
	LM	0,270	0,007	[0, 269; 0, 272]
	TF	16,30	0,47	[16, 21; 16, 40]
50,24Ne + 22dTex CO/EA	P	27,34	1,17	[26, 91; 27, 78]
	C	27,98	0,68	[27, 72; 28, 23]
	DM	765,36	44,26	[748, 84; 781, 89]
	G	242,10	6,11	[239, 81; 244, 38]
	LM	0,272	0,014	[0, 267; 0, 277]
	TF	12,64	0,70	[12, 37; 12, 90]

El promedio, desviación típica e intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas de punto liso con hilos de título 26,96 Ne, 30,26 Ne y 37,39 Ne de algodón 100 % en los estados de relajación *KDR* y *KWR*, se muestran en las tablas 4.3 y 4.4 respectivamente.

Tabla 4.3: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación KDR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación KDR		
		\bar{x}	s_i	IC
26, 96 N_e CO	P	23,80	0,23	[23, 69; 23, 91]
	C	11,17	0,17	[10, 08; 11, 25]
	DM	265,74	3,24	[264, 22, ; 267, 27]
	G	151,87	2,29	[150, 79; 152, 95]
	LM	0,264	0,005	[0, 261; 0, 267]
	TF	17,74	0,52	[17, 49; 17, 99]
30, 26 N_e CO	P	21,95	0,29	[21, 81; 22, 09]
	C	11,75	0,24	[11, 63; 11, 87]
	DM	257,87	3,81	[256, 08; 259, 66]
	G	134,31	0,86	[133, 90; 134, 71]
	LM	0,271	0,006	[0, 268; 0, 275]
	TF	16,25	0,45	[16, 03; 16, 46]
37, 39 N_e CO	P	23,38	0,75	[23, 20; 23, 55]
	C	11,60	0,42	[11, 50; 11, 70]
	DM	270,93	9,11	[269, 12; 272, 74]
	G	109,08	5,93	[107, 76; 110, 41]
	LM	0,252	0,010	[0, 249; 0, 255]
	TF	15,80	0,67	[15, 65; 15, 96]

Tabla 4.4: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación KWR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación KWR		
		\bar{x}	s_i	IC
26, 96 N_e CO	P	23,52	0,17	[23, 43; 23, 60]
	C	15,21	0,16	[15, 14; 15, 29]
	DM	357,84	4,08	[355, 92; 359, 75]
	G	205,00	1,47	[204, 31; 205, 69]
	LM	0,263	0,004	[0, 260; 0, 265]
	TF	17,61	0,41	[17, 42; 17, 81]
30, 26 N_e CO	P	22,62	0,22	[22, 51; 22, 73]
	C	15,48	0,23	[15, 37; 15, 59]
	DM	350,18	6,36	[347, 20; 355, 16]
	G	187,27	1,69	[186, 47; 188, 07]
	LM	0,270	0,005	[0, 267; 0, 273]
	TF	16,19	0,41	[15, 99; 16, 39]
37, 39 N_e CO	P	23,70	0,89	[23, 50; 23, 91]
	C	16,62	0,29	[16, 55; 16, 69]
	DM	394,10	20,00	[389, 64, ; 398, 55]
	G	163,42	3,05	[162, 73; 164, 10]
	LM	0,256	0,009	[0, 254; 0, 259]
	TF	15,51	0,56	[15, 38; 15, 64]

Posteriormente, las partidas se someten a un proceso de tintura por agotamiento en máquina. Las condiciones de tintura y los productos añadidos se indican en la figura 2.14 y tabla 2.6.

Una vez realizada la hidroextracción y posterior secado de las partidas de tejido, se identifican las piezas marcadas para su análisis. Posteriormente, se coge una muestra de cada una de ellas para su análisis, previamente sometiéndolas a una atmósfera de acondicionamiento.

Se han diferenciado dos estados de relajación después del proceso de tintura:

- **Tintura y relajación en seco (DDR).** El tejido una vez tintado se ha sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta llegar a una masa constante.
- **Tintura y relajación por lavado (DWR).** Una vez el tejido ha llegado al estado de relajación *DDR*, se le realiza un test de lavado según norma UNE EN ISO 6330, de septiembre de 2012, procedimiento 4N para conocer su estabilidad dimensional.

Los estados de relajación diferenciados en los procesos de tejeduría y tintura se representan en la figura 4.1.

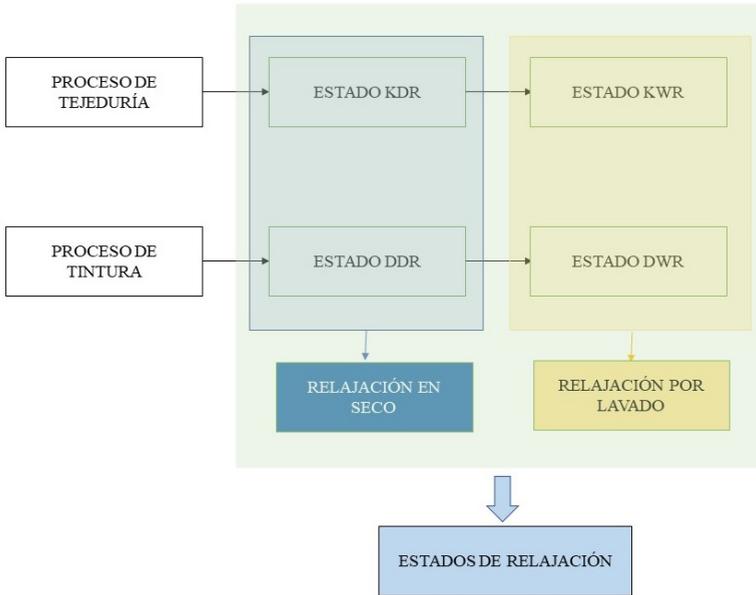


Figura 4.1: Estados de relajación en los procesos de tejeduría y tintura.

El promedio, desviación típica e intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas de 1x1 rib con hilos de título 26,96 Ne, 30,26 Ne de algodón 100 % y 50,24 Ne de algodón 100 % vanisado con elastano 22 dTex en cursos alternos en las agujas del plato, para los estados de relajación *DDR* Y *DWR* se muestran en las tablas 4.5 y 4.6 respectivamente.

Tabla 4.5: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en el estado de relajación DDR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación DDR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96Ne CO	P	17,56	0,31	[17, 48; 17, 65]
	C	23,35	0,72	[23, 16; 23, 53]
	DM	409,95	10,57	[407, 22; 412, 69]
	G	230,46	7,84	[228, 43; 232, 49]
	LM	0,266	0,010	[0, 263; 0, 269]
	TF	17,25	0,62	[17, 09; 17, 42]
30,26Ne CO	P	17,24	0,62	[17, 08, 17, 39]
	C	24,51	0,69	[24, 34; 24, 68]
	DM	422,41	18,67	[417, 96; 426, 87]
	G	210,98	4,85	[209, 82; 212, 14]
	LM	0,265	0,013	[0, 262; 0, 269]
	TF	16,42	0,75	[16, 23; 16, 60]
50,24Ne + 22dTex CO/EA	P	19,63	0,94	[19, 28; 19, 99]
	C	31,62	0,53	[31, 42; 31, 82]
	DM	620,73	28,63	[610, 03; 631, 42]
	G	190,10	3,51	[188, 78; 191, 41]
	LM	0,275	0,016	[0, 268; 0, 281]
	TF	12,34	0,75	[12, 05; 12, 62]

Tabla 4.6: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de 1x1 rib y 1x1 rib vanisadas en el estado de relajación DWR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación DWR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96Ne CO	P	18,36	0,36	[18, 27; 18, 46]
	C	23,54	0,61	[23, 38; 23, 70]
	DM	432,23	8,57	[430, 01; 434, 45]
	G	243,88	4,44	[242, 73; 245, 03]
	LM	0,270	0,008	[0, 268; 0, 273]
	TF	16,99	0,57	[16, 84; 17, 14]
30,26Ne CO	P	18,24	0,53	[18, 11, 18, 37]
	C	24,55	0,94	[24, 32; 24, 78]
	DM	447,80	23,32	[442, 23; 453, 36]
	G	224,98	7,98	[223, 08; 226, 88]
	LM	0,270	0,009	[0, 267; 0, 272]
	TF	16,14	0,58	[16, 00; 16, 28]
50,24Ne + 22dTex CO/EA	P	21,34	0,96	[20, 98; 21, 71]
	C	30,47	0,54	[30, 26; 30, 67]
	DM	650,16	28,32	[639, 58; 660, 74]
	G	201,44	3,19	[200, 24; 202, 63]
	LM	0,266	0,015	[0, 260; 0, 272]
	TF	12,76	0,69	[12, 50; 13, 03]

El promedio, desviación típica e intervalo de confianza del 95 % de los resultados obtenidos en el análisis de las piezas de tejido de punto liso fabricadas con hilos de título 26,96 Ne, 30,26 Ne y 37,39 Ne de algodón 100 % en los estados de relajación *DDR* y *DWR* se muestran en las tablas 4.7 y 4.8 respectivamente.

Tabla 4.7: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación DDR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación DDR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96 N_e CO	P	20,15	0,25	[20, 03; 20, 27]
	C	15,99	0,31	[15, 84; 16, 14]
	DM	322,22	6,75	[319, 05; 325, 38]
	G	176,93	1,71	[176, 12; 177, 74]
	LM	0,261	0,003	[0, 259; 0, 263]
	TF	17,51	0,35	[17, 34; 17, 67]
30,26 N_e CO	P	19,04	0,31	[18, 89; 19, 19]
	C	15,68	0,24	[15, 56; 15, 79]
	DM	298,45	5,46	[295, 89; 301, 01]
	G	153,13	1,84	[152, 27; 153, 99]
	LM	0,268	0,003	[0, 266; 0, 270]
	TF	16,20	0,34	[16, 03; 16, 36]
37,39 N_e CO	P	19,46	0,85	[19, 25; 19, 66]
	C	17,35	0,42	[17, 25; 17, 45]
	DM	337,74	20,93	[332, 92; 342, 56]
	G	131,15	3,39	[130, 36; 131, 93]
	LM	0,253	0,009	[0, 251; 0, 256]
	TF	15,57	0,69	[15, 42; 15, 73]

4.2 Resultados y discusión

Las variables de mayor interés se han representado mediante un *Boxplot*. Un diagrama *Boxplot* es una representación gráfica de datos estadísticos basada en el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil y el máximo. El término *Boxplot* proviene del hecho de que el gráfico parece un rectángulo con líneas que se extienden desde la parte superior a la inferior.

Las figuras 4.2-4.5 muestran respectivamente los resultados de las variables P, C, DM y LM en las estructuras analizadas de 1x1 rib con títulos de hilo 26,96 y 30,26 Ne de algodón 100 % y 50,24 Ne de algodón 100 % vanisado en pasadas

Tabla 4.8: Resultados experimentales obtenidos del análisis de las estructuras de punto liso en el estado de relajación DWR.

Muestra	Variable	Estado de Relajación DWR		
		\bar{x}	s_i	IC
26,96 N_e CO	P	21,69	0,27	[21, 56; 21, 82]
	C	15,87	0,18	[15, 78; 15, 95]
	DM	344,17	5,25	[341, 71; 346, 63]
	G	186,23	1,27	[185, 63; 186, 83]
	LM	0,260	0,004	[0, 258; 0, 262]
	TF	17,56	0,36	[17, 38; 17, 73]
30,26 N_e CO	P	20,49	0,16	[20, 41; 20, 57]
	C	15,87	0,16	[15, 79; 15, 95]
	DM	325,13	3,89	[323, 31; 326, 96]
	G	165,01	1,40	[164, 35; 165, 67]
	LM	0,267	0,004	[0, 264; 0, 270]
	TF	16,32	0,55	[16, 06; 16, 59]
37,39 N_e CO	P	21,29	0,91	[21, 08; 21, 51]
	C	17,10	0,40	[17, 00; 17, 19]
	DM	364,26	22,33	[359, 11; 369, 40]
	G	143,20	3,89	[142, 30; 144, 10]
	LM	0,252	0,009	[0, 249; 0, 254]
	TF	15,70	0,61	[15, 55; 15, 84]

alternas con elastómero 22 dTex., en los estados de relajación KDR, KWR, DDR y DWR.

Las figuras 4.6-4.9 muestran respectivamente los resultados de las variables P, C, DM y LM en las estructuras analizadas de punto liso con títulos de hilo 26,96, 30,26 y 37,39 Ne de algodón 100 %, en los estados de relajación KDR, KWR, DDR y DWR.

Una vez analizados los tejidos en los estados de relajación *KDR*, *KWR*, *DDR* Y *DWR*, se pretende ver la relación existente entre las variables con el objetivo de obtener modelos predictivos de la *longitud de malla* en cada uno de los estados de relajación citados anteriormente. Los modelos obtenidos por regresión lineal que predicen la *longitud de malla* de los tejidos analizados de 1x1 rib en

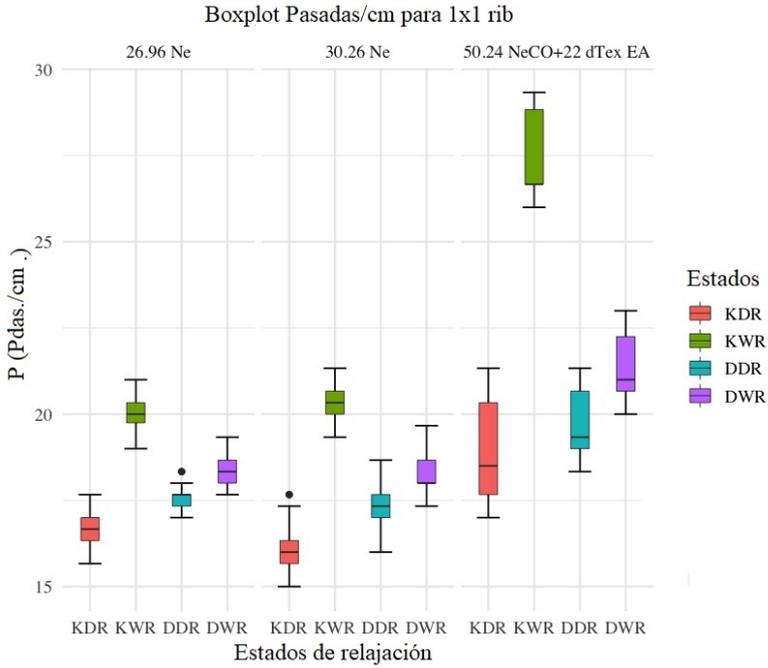


Figura 4.2: Pasadas por centímetro para las estructuras de 1x1 rib.

los estados de relajación KDR y KWR se muestran en las tablas 4.9 y 4.10 respectivamente.

Tabla 4.9: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación KDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación KDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,18204 \cdot C}$	97,80
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,215316 \cdot P}$	99,42
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00105471 \cdot DM}$	95,72

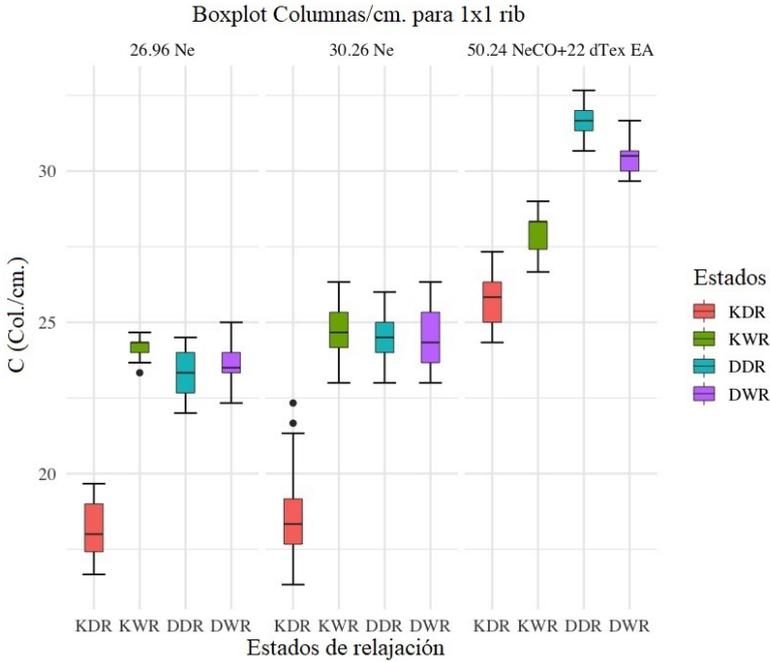


Figura 4.3: Columnas por centímetro para las estructuras de 1x1 rib.

Tabla 4.10: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación KWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación KWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,1470478 \cdot C}$	99,68
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,170679 \cdot P}$	98,49
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00664432 \cdot DM}$	96,70

Los modelos obtenidos por regresión lineal que predicen la *longitud de malla* de los tejidos analizados de punto liso en los estados de relajación KDR y KWR se muestran en las tablas 4.11 y 4.12 respectivamente.

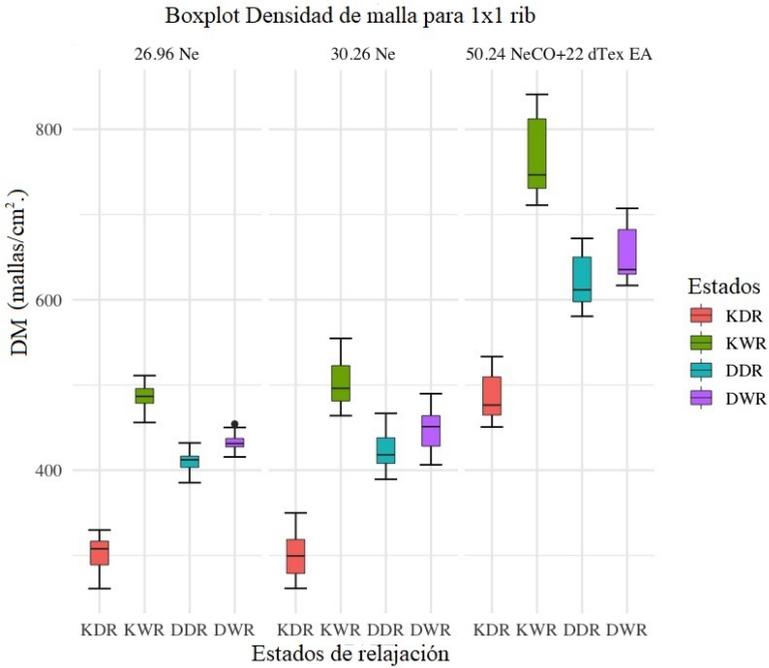


Figura 4.4: Densidad de Malla para las estructuras de 1x1 rib.

Tabla 4.11: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación KDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación KDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,336763 \cdot C}$	99,73
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1676147 \cdot P}$	99,76
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,01453059 \cdot DM}$	99,84

Los modelos obtenidos por regresión lineal que predicen la *longitud de malla* de los tejidos analizados de 1x1 rib en los estados de relajación DDR y DWR se muestran en las tablas 4.13 y 4.14 respectivamente.

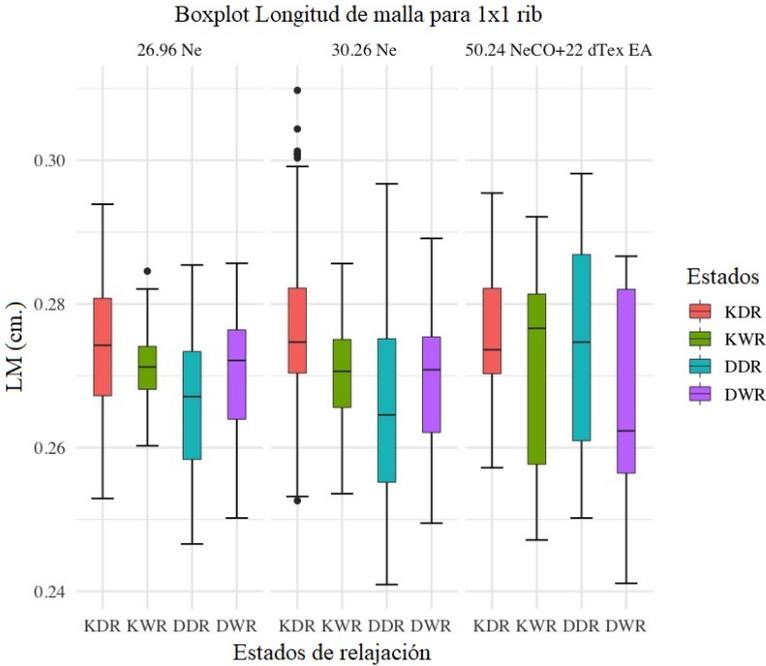


Figura 4.5: Longitud de malla para las estructuras de 1x1 rib.

Tabla 4.12: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación KWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación KWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,2378748 \cdot C}$	99,91
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1640665 \cdot P}$	99,96
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,01010196 \cdot DM}$	99,85

Los modelos obtenidos por regresión lineal que predicen la *longitud de malla* de los tejidos analizados de punto liso en los estados de relajación DDR y DWR se muestran en las tablas 4.15 y 4.16 respectivamente.

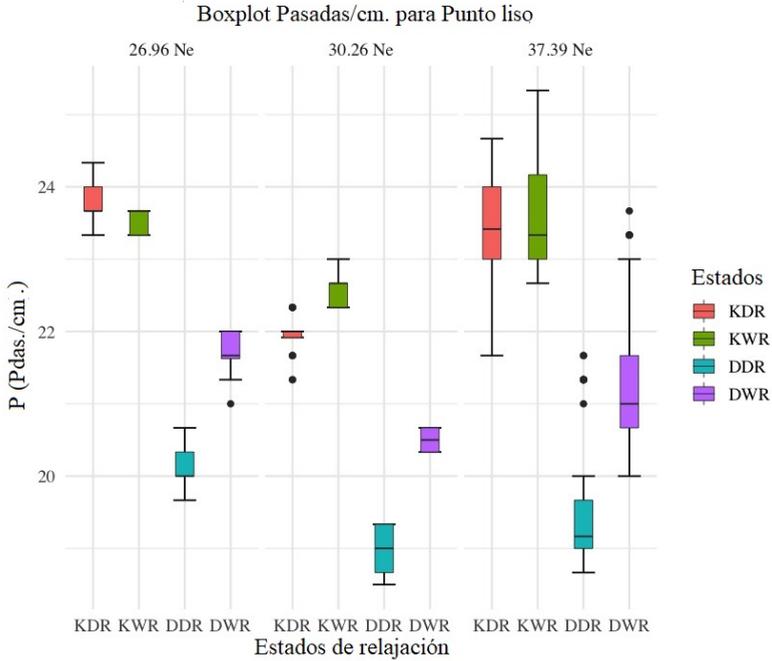


Figura 4.6: Pasadas por centímetro para las estructuras de punto liso.

Tabla 4.13: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,145206 \cdot C}$	98,00
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,209909 \cdot P}$	99,50
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,0079753 \cdot DM}$	96,40

Las figuras 4.10-4.12 muestran los modelos de regresión lineal ajustados para las estructuras de punto liso en el estado de relajación DWR.

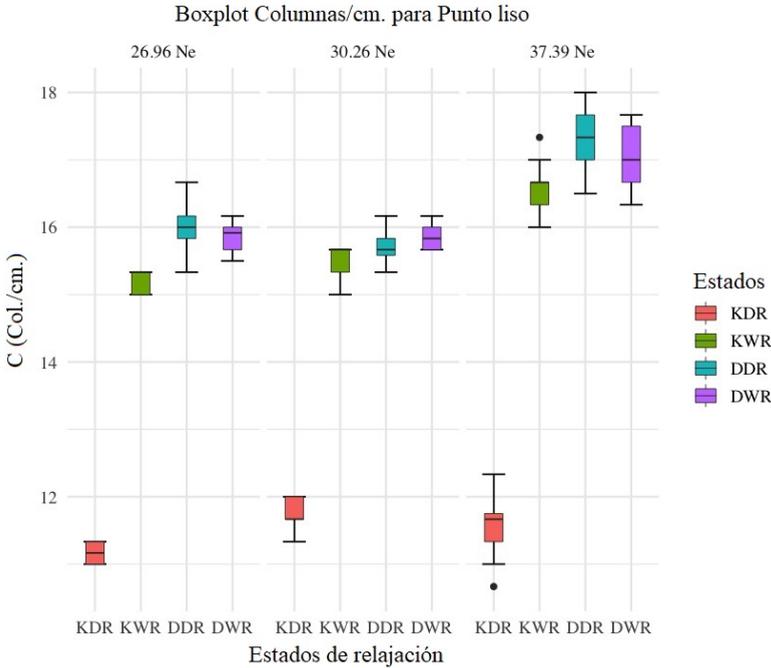


Figura 4.7: Columnas por centímetro para las estructuras de punto liso.

Tabla 4.14: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,145762 \cdot C}$	99,03
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,196380 \cdot P}$	99,53
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00753594 \cdot DM}$	97,26

Todos los modelos propuestos tienen un R^2 superior al 95%, dando una explicación de la variabilidad óptima a partir de la linealidad existente con las variables independientes *Pasada*, *Columnas* y *Densidad de Malla*.

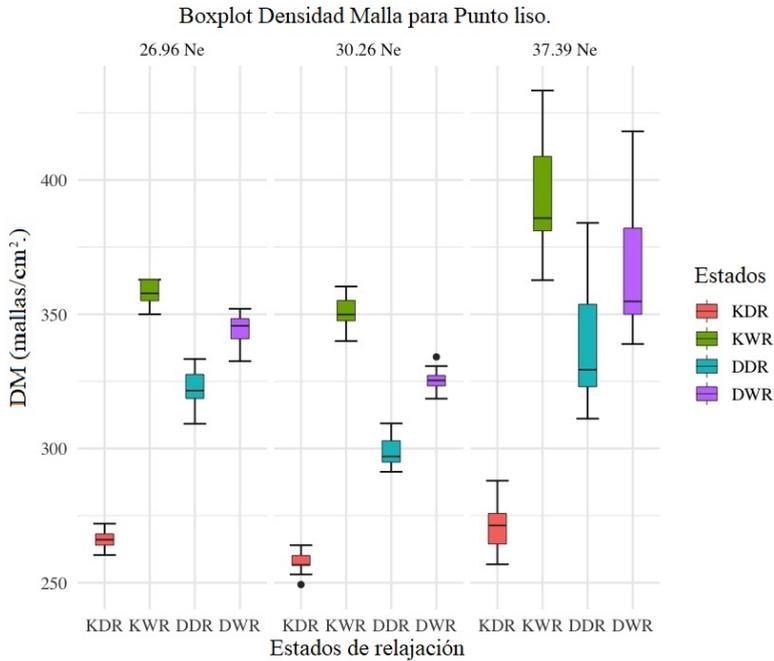


Figura 4.8: Densidad de Malla para las estructuras de punto liso.

Tabla 4.15: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,2312112 \cdot C}$	99,87
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1994994 \cdot P}$	99,89
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,001183330 \cdot DM}$	96,82

Posteriormente, los modelos propuestos se han sometido a un proceso de validación consistente en el análisis de un conjunto de partidas de cada tejido y diámetro de máquina. Dicho análisis consta del cálculo de la longitud de malla de cada una de las partidas en los estados de relajación KDR, KWR, DDR y

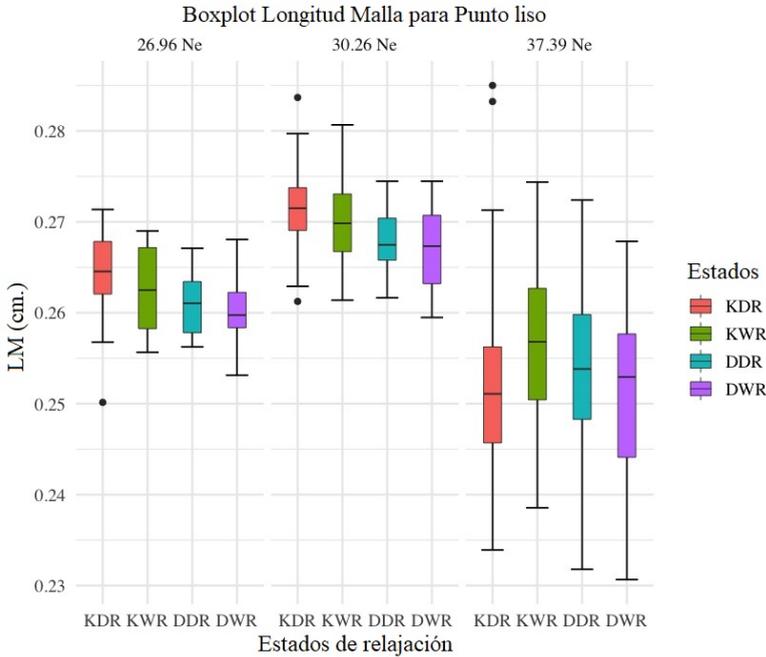


Figura 4.9: Longitud de malla para las estructuras de punto liso.

Tabla 4.16: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR	R^2
			Relación lineal	
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,2348527 \cdot C}$	99,94
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1844150 \cdot P}$	99,90
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,01103993 \cdot DM}$	99,87

DWR. Paralelamente se han calculado los valores estimados mediante los modelos propuestos. El error estimado será la diferencia entre el valor estimado y el valor real.

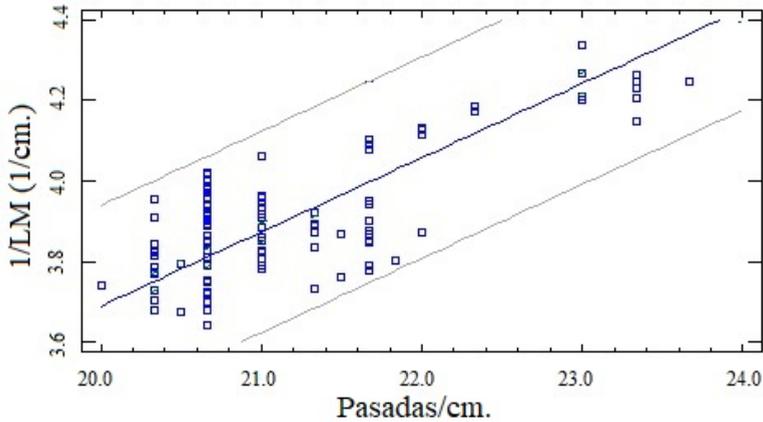


Figura 4.10: Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre las pasadas por centímetro y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.

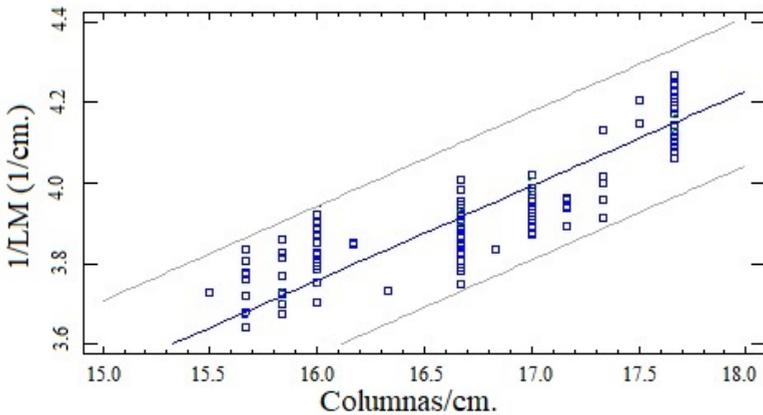


Figura 4.11: Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre las columnas por centímetro y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.

Los errores estimados de los modelos propuestos para la estimación de la longitud de malla en los estados de relajación KDR y KWR para los tejidos de 1x1 rib (tablas 4.11 y 4.12 respectivamente) oscilan entre 0,015 y 0,075 cm., aconsejando aplicar los modelos que utilizan las variables *Pasadas* en los estados de relajación KDR (cometiéndolo un error máximo estimado de 0,015 cm), y la variable *Columnas* en el estado KWR (cometiéndolo un error máximo de 0,007 cm), debido a su mayor precisión. En los tejidos de punto liso (tablas 4.11

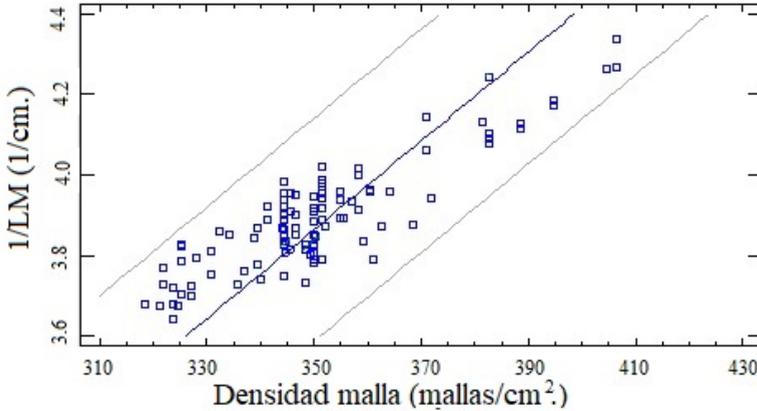


Figura 4.12: Modelo de regresión lineal para los tejidos de punto liso. Relación entre la densidad de malla y la longitud de malla en el estado de relajación DWR.

y 4.12 respectivamente) el error estimado mínimo cometido es de 0,004 cm., siendo el máximo de 0,011 cm., aconsejando utilizar por su mejor precisión, los modelos que estiman la longitud de malla a partir de la variable independiente *Pasadas*.

Los errores estimados de los modelos propuestos para la estimación de la longitud de malla en los estados de relajación DDR y DWR para los tejidos de punto de 1x1 rib (tablas 4.13 y 4.14 respectivamente), oscilan entre un valor mínimo de 0,010 cm. y un máximo de 0,041 cm., aconsejando utilizar los modelos que predicen la longitud de malla a partir de la variable *Pasadas* o *Columnas* indistintamente en el estado de relajación DDR y para el estado DWR los que utilizan la variable *Pasadas*.

Los modelos propuestos para los tejidos de punto liso en los estados de relajación DDR, DWR (tablas 4.15 y 4.16 respectivamente), se obtienen errores que oscilan entre 0,005 y 0,009 cm., siendo los modelos más precisos los que utilizan las variables independientes *Pasadas* y *Columnas*.

4.3 Conclusiones

En este estudio se han investigado las propiedades dimensionales de dos grupos de tejidos, uno de ellos formado por tres estructuras de tejidos de punto liso y el segundo por tres tejidos de 1x1 rib. Se han propuesto unos modelos de regresión lineal para la predicción de la longitud de malla en los estados de relajación **Tejeduría y relajación en seco**, **Tejeduría y relajación por lavado**, **Tintura y relajación en seco**, **Tintura y relajación por lavado**, para los siguientes tejidos:

- Tejidos de 1x1 rib: dos tejidos fabricados con hilos de título 26,96 y 30,26 Ne. de algodón 100 % y un tercer tejido fabricado con 50,24 Ne de algodón vanisado con 22 dTex de elastano en las agujas del plato en cursos alternos (tablas 4.9, 4.10, 4.13 y 4.14).
- Tejidos de punto liso fabricados con hilos de 26,96, 30,26 y 37,29 Ne. de algodón 100 % (tablas 4.11, 4.12, 4.15 y 4.16).

En la validación de los modelos, se observa que los errores estimados cometidos utilizando estos modelos para cada estructura, son muy pequeños. Es por ello que se concluye que dichos modelos explican la variabilidad obtenida de cada uno de los modelos propuestos.

Con ésto se demuestra que los modelos propuestos son aptos para el uso del cálculo de la longitud de malla de las estructuras analizadas a partir del conocimiento de alguna de las variables dimensionales *Pasadas por centímetro*, *Columnas por centímetro* y *Densidad de malla* en cualquiera de los estados de relajación *Tejeduría y relajación en seco*, *Tejeduría y relajación por lavado*, *Tintura y relajación en seco* y *Tintura y relajación por lavado*. De esta forma se puede evitar seguir el procedimiento convencional utilizado para su análisis, según norma UNE-EN 14970, evitando realizar las operaciones de identificación de las pasadas, sentido de destejer de la muestra, cortar a lo largo de una columna, recuento del número de mallas en una longitud determinada, separación del hilo del tejido, fijación a las pinzas del equipo de medida previniendo la pérdida de torsión para la medición de su longitud, y replicar esto 10 veces para posteriormente calcular su media. Realizando este procedimiento y dependiendo del tipo de estructura a analizar, se puede invertir un tiempo relativamente largo. Con los modelos propuestos se agiliza, así pués, su proceso de obtención.

Al mismo tiempo, se demuestra que el mismo procedimiento empleado para la predicción de la longitud de malla en los tejidos de interlock (Llinares Be-

renguer y col. 2020) es válido para el cálculo de la longitud de malla de las estructuras de 1x1 rib y punto liso y en cualquiera de los estados de relajación propuestos: **Tejeduría y relajación en seco**, **Tejeduría y relajación por lavado**, **Tintura y relajación en seco** y **Tintura y relajación por lavado**. Para ello se utilizaría los modelos específicos para cada una de las tres estructuras de punto liso, 1x1 rib e interlock.

Cálculo del encogimiento de los tejidos de punto según la forma de la malla.

Registro bibliográfico

- **Autores.** Jorge Llinares Berenguer, Pau Miró i Martínez, Pablo Díaz-García.
- **Título.** Calculation of interlock, 1x1 rib, and single jersey knitted fabrics shrinkage during the dyeing process after determining loop shape.
- **Revista.** Textile Research Journal.
- **Año publicación.** 2021.

En este capítulo se define el procedimiento para el cálculo del encogimiento de los tejidos de punto con estructura de interlock, 1x1 rib y punto liso, durante el proceso de tintura determinando la forma de la malla .

En este estudio se han investigado las variaciones dimensionales existentes en los tejidos de punto por recogida para los estados de relajación *Tejeduría y relajación en seco*, *Tintura y relajación en seco* y *Tintura y relajación por lavado*, sobre estructuras de interlock, 1x1 rib y punto liso. Se ha concluido que la longitud de malla afecta a las dimensiones del tejido cuando se modifican los parámetros de la máquina de género de punto, variando el consumo de los alimentadores y obteniendo tejidos con mallas más flojas o apretadas. Una vez tejida la estructura, la forma que adopte la malla dentro del tejido, para cada estado de relajación, será la principal responsable de las variaciones dimensionales en los tejidos de punto de algodón. Se han obtenido modelos por regresión lineal ayudando a predecir el encogimiento longitudinal y transversal en los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso después del proceso de tintura. De esta forma se evita realizar el procedimiento de análisis convencional, según la norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012 y para ello invertir un tiempo relativamente largo para su cálculo, agilizando el proceso productivo evitando partidas inmovilizadas.

5.1 Experimental

5.1.1 Materiales y Métodos

Para mantener la representatividad de las posibles estructuras de tejido, se realizaron varios análisis de las diferentes variables: estructuras, galga, título del hilo y tensión de los alimentadores. Los tejidos analizados representaron las tres estructuras básicas en las máquinas circulares: interlock, 1x1 rib y punto liso. La galga de máquina empleada en los tejidos de interlock fueron E20. Dos galgas fueron usadas en los tejidos de 1x1 rib: E16 para los tejidos de algodón 100% y E18 para los de algodón/elastano. La galga de máquina E22 fueron seleccionadas para los tejidos de punto liso.

Para realizar este estudio, las siguientes piezas de tejido de punto fueron analizadas:

- Punto liso (algodón): 80 piezas de 15,83 Tex, 80 piezas de 19,44 Tex y 80 piezas de 21,96 Tex
- Interlock (algodón): 80 piezas de 19,44 Tex (con mallas flojas), 80 piezas de 19,44 Tex (con mallas intermedias) y 80 piezas de 19,44 Tex (con mallas apretadas).

- 1x1 rib (algodón): 80 piezas de 19,44 Tex, 80 piezas de 21,96 Tex y 80 piezas de 11,77 Tex (estas últimas piezas fueron vanisadas con 22 dTex de elastómero en alimentadores alternos para las agujas del plato).

Estas piezas fueron seleccionadas y controladas durante todo el proceso productivo que involucró 14400 piezas fabricadas de 20 kg. cada una correspondientes a 720 partidas de 20 piezas cada una.

Las máquinas empleadas para la fabricación de los tejidos de punto liso, 1x1 rib, 1x1 rib vanisados con elastómero e interlock se indican en las tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 respectivamente.

En este estudio se han diferenciado tres estados de relajación de los tejidos, correspondientes uno de ellos al obtenido después del proceso de tejeduría y los otros dos al proceso de tintura:

- **Tejeduría y relajación en seco (KDR).** Una vez producido el tejido se ha sometido a una atmósfera de acondicionamiento hasta obtener una masa constante ($T : 20^{\circ}\text{C}$ y $HR : 65\%$).
- **Tintura y relajación en seco (DDR).** El tejido de punto se ha tintado y acondicionado hasta obtener una masa constante ($T : 20^{\circ}\text{C}$ y $HR : 65\%$).
- **Tintura y relajación por lavado (DWR).** El tejido tintado y acondicionado hasta obtener una masa constante se sometió posteriormente a un ensayo de estabilidad dimensional según norma UNE EN ISO 6330 procedimiento 4N, utilizando el procedimiento C para su secado. Este procedimiento de lavado y secado doméstico se utiliza ya que estos tejidos van destinados a confeccionar prendas que estarán sujetas a estas condiciones de lavado y secado.

El proceso experimental se inició tejiendo las piezas indicadas. Posteriormente se han seguido todos los procesos necesarios para obtener con todas ellas los estados de relajación citados de la siguiente manera:

- Número de mallas por unidad de longitud/área (Pasadas/cm, Columnas/cm y Densidad de malla) según norma UNE-EN 14971.
- Masa Laminar según norma UNE-EN 12127:1998.
- Densidad lineal y longitud de malla según norma UNE-EN 14970.
- Ancho del tejido, variación del área, ancho de Malla y alto de Malla.

Posteriormente las partidas seleccionadas se someten a un proceso de blanqueo químico por agotamiento en máquina. Una vez realizada la hidroextracción y posterior secado, se identifican las piezas a analizar, cogiendo una muestra de ellas y sometiéndolas a una atmósfera de acondicionamiento hasta alcanzar el estado de relajación *DDR*. Una vez alcanzado este estado se procede al análisis de las muestras para su caracterización. Posteriormente, estas muestras se someten a un análisis para la obtención de la estabilidad dimensional según la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012, obteniendo los resultados de las variables en el estado de relajación *DWR*.

Una vez obtenido el valor resultante de las variables *pasadas/cm (P)*, *columnas/cm (C)*, *densidad de malla (DM)*, *masa laminar (G)*, *longitud de malla(LM)*, *alto de malla (Y)* y *ancho de malla (X)*, *ancho del tejido (A)*, *peso de 1 malla y título del hilo*, para los estados de relajación *KDR*, *DDR* y *DWR*, el encogimiento longitudinal y transversal para los estados de relajación *DDR* y *DWR*, se calcula la variación porcentual obtenida entre los estados de relajación *KDR-DDR* y *DDR-DWR* aplicando las ecuaciones 5.1 y 5.2. Estas variables se han representado en la figura 2.32.

$$Var_{KDR-DDR}(\%) = \frac{Variable_{DDR} - Variable_{KDR}}{Variable_{KDR}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$$Var_{DDR-DWR}(\%) = \frac{Variable_{DWR} - Variable_{DDR}}{Variable_{DDR}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

5.2 Resultados y discusión

A continuación se exponen las conclusiones extraídas de los resultados obtenidos con los tres tipos de estructuras analizadas: interlock, 1x1 rib y punto liso.

5.2.1 Tejidos de Interlock

Las tablas 5.1 y 5.2 muestran los resultados obtenidos de las variaciones porcentuales de las variables analizadas para las tres estructuras de interlock.

Tabla 5.1: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de interlock entre los estados de relajación KDR-DDR.

Tejido	Variable	Variación KDR-DDR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
19.44 Tex - Mallas flojas	P	-0,886	3,454	[-2, 175; 0, 405]
	C	17,846	5,303	[15, 865; 19, 826]
	DM	16,684	4,024	[15, 181; 18, 187]
	G	19,280	6,270	[16, 939; 21, 622]
	LM	7,374	5,725	[5, 235; 9, 512]
	Y	1.013	3,562	[0, 316; 2, 344]
	X	-14,973	3,914	[-16, 434; -13, 512]
	A	-17,037	3,505	[-18, 345; -15, 728]
	T	-2,699	5,304	[-4, 679; -0, 719]
	P_{1M}	-1,372	5,467	[-3, 413; 0, 670]
19,44 Tex - Mallas intermedias	P	-3,586	3,263	[-4, 312; -2, 860]
	C	27,667	4,682	[26, 625; 28, 710]
	DM	22,979	3,168	[22, 273; 23, 684]
	G	18,492	3,643	[17, 681; 19, 303]
	LM	2,861	4,288	[1, 906; 3, 816]
	Y	3.833	3,417	[3, 072; 4, 594]
	X	-21,566	2,931	[-22, 218; -20, 914]
	A	-21,742	3,113	[-22, 435; -21, 050]
	T	-3,015	4,599	[-4, 038; -1, 992]
	P_{1M}	-4,308	4,650	[-5, 343; -3, 274]
19,44 Tex - Mallas apretadas	P	-5,329	3,625	[-6, 141; -4, 518]
	C	26,308	3,544	[25, 514; 27, 102]
	DM	19,536	4.720	[18, 479; 20, 594]
	G	13,637	4,664	[12, 628; 14, 718]
	LM	1,388	4,887	[0, 293; 2, 483]
	Y	5.782	4,051	[4, 874; 6, 690]
	X	-20,767	2,234	[-21, 267; -20, 267]
	A	-19,734	2,185	[-20, 223; -19, 245]
	T	-2,774	4,627	[-3, 810; -1, 738]
	P_{1M}	-4,594	5,801	[-5, 893; -3, 295]

Tabla 5.2: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de interlock entre los estados de relajación DDR-DWR.

Tejido	Variable	Variación DDR-DWR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
19.44 Tex - Mallas flojas	P	11,218	4,990	[9, 354; 13, 082]
	C	-0,053	0,040	[-0, 068; -0, 039]
	DM	5,124	2,183	[4, 309; 5, 940]
	G	2,146	5,336	[0, 153; 4, 139]
	LM	-2,827	3,702	[-4, 209; -1, 445]
	Y	-9,914	3,984	[-11, 401; -8, 427]
	X	5,811	4,566	[4, 105; 7, 516]
	A	3,482	3,198	[2, 288; 4, 677]
	T	0,391	4,503	[-1, 290; 2, 073]
	P_{1M}	3,111	5,214	[1, 163; 5, 058]
	%L	-9,007	2,731	[-10, 026; -7, 987]
	%A	4,010	3,055	[2, 859; 5, 151]
	19,44 Tex - Mallas intermedias	P	10,105	2,885
C		-0,039	0,032	[-0, 046; -0, 032]
DM		5,758	2,637	[5, 171; 6, 345]
G		5,754	2,054	[5, 297; 6, 212]
LM		-2,024	2,600	[-2, 602; -1, 446]
Y		-9,115	2,398	[-9, 648; -8, 582]
X		4,164	3,474	[3, 390; 4, 938]
A		3,626	2,777	[3, 007; 4, 244]
T		0,359	4,474	[-0, 636; 1, 355]
P_{1M}		2,411	6,311	[1, 007; 3, 816]
%L		-8,326	2,929	[-8, 978; -7, 674]
%A		4,401	3,551	[3, 611; 5, 192]
19,44 Tex - Mallas apretadas		P	9,735	3,041
	C	-0,031	0,028	[-0, 037; -0, 026]
	DM	6,241	2,837	[5, 605; 6, 877]
	G	6,906	2,588	[6, 326; 7, 486]
	LM	-1,865	2,922	[-2, 519; -1, 211]
	Y	-8,802	2,516	[-9, 365; -8, 239]
	X	3,330	3,030	[2, 651; 4, 009]
	A	2,130	1,909	[1, 701; 2, 558]
	T	0,244	4,919	[-0, 858; 1, 346]
	P_{1M}	1,664	6,361	[0, 238; 3, 089]
	%L	-8,144	1,701	[-8, 525; -7, 764]
	%A	2,410	2,174	[1, 923; 2, 898]

La figura 5.1 ilustra gráficamente las variaciones dimensionales porcentuales de las variables más significantes para las tres estructuras de interlock analizadas. En este gráfico se puede observar cómo, entre los estados de relajación KDR-DDR, la variable que presenta mayor incremento es la es la *C*, mientras que la variable *X* es la que más disminuye. Las variables *G* y *DM* también muestran un aumento significativo. Sin embargo, entre los estados de relajación DDR-DWR, es la variable *P* la que muestra el mayor incremento, mientras que la variable *Y* es la que más disminuye.

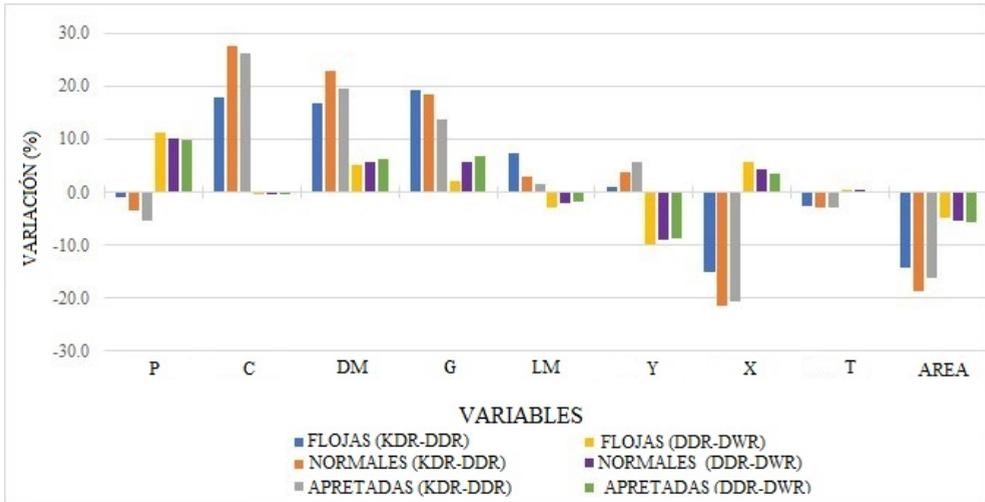


Figura 5.1: Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de interlock hechas con 19,44 Tex 100 % algodón con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

Se concluye que la variación porcentual de la *LM* que forman los tejidos de interlock, muestran un cambio dimensional más acentuado después del proceso de tintura y su longitud se alargó hasta un 7,5 % en los tejidos con mallas más flojas.

En el estado DWR, la variación no superó el 3,1 % de encogimiento. Sin embargo, esta es una variación relativamente menor en comparación con las obtenidas en las variables dimensionales *Y* y *X*, donde la variable *Y* presentó la mayor contracción después del proceso de tintura, mientras que la mayor variación fue para la variable *X* después del estado de relajación DWR.

Estas dos variables son las que determinan la forma de la malla en cada estado de relajación. Por lo tanto, la forma que adopte el tejido en cada estado de relajación será la que determinará en mayor medida la variación dimensional de un tejido.

La figura 5.2 muestra la misma estructura de interlock con título de hilo de 19,44 Tex 100% algodón con mallas normales en los estados de relajación KDR, DDR y DWR.

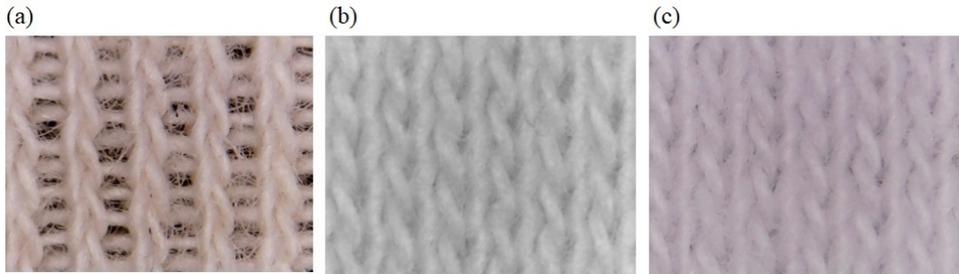


Figura 5.2: Estructura de interlock con mallas normales en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).

5.2.2 Tejidos de 1x1 rib

Las tablas 5.3 y 5.4 muestran los resultados de las variaciones porcentuales de las variables analizadas de los tejidos de 1x1 rib.

Tabla 5.3: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de 1x1 rib entre los estados de relajación KDR-DDR.

Tejido	Variable	Variación KDR-DDR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
19.44 Tex	P	5,637	4,591	[4, 542; 6, 733]
	C	34,590	9,508	[32, 323; 36, 858]
	DM	41,928	8,040	[40, 010; 43, 845]
	G	34,674	8,242	[32, 708; 36, 640]
	LM	-4,375	6,410	[-5, 903; -2, 847]
	Y	-5.162	4,082	[-6, 135; -4, 189]
	X	-25,339	5,209	[-26, 581; -24, 098]
	A	-23,745	5,911	[-25, 154; -22, 337]
	T	-2,382	4,497	[-3, 454; -1, 311]
	P_{1M}	-6,587	6,954	[-8, 244; -4, 929]
21,96 Tex	P	4,123	2,845	[3, 387; 4, 858]
	C	28,447	6,699	[26, 716; 30, 178]
	DM	33,675	6,681	[31, 949; 35, 402]
	G	28,872	5,880	[27, 353; 30, 392]
	LM	-3,083	4,792	[-4, 320; -1, 846]
	Y	-3.888	2,659	[-4, 575; -3, 202]
	X	-21,941	4,021	[-22, 979; -20, 903]
	A	-22,377	3,859	[-23, 373; -21, 380]
	T	-4,062	3,754	[-5, 032; -3, 093]
	P_{1M}	-6,277	5,446	[-7, 683; -4, 871]
11,77 Tex CO+22dTex EA	P	4,256	3,834	[2, 824; 5, 688]
	C	22,950	4,170	[21, 393; 24, 508]
	DM	28,063	3.033	[26, 930; 29, 196]
	G	22,995	3,328	[21, 752; 24, 238]
	LM	-0,157	5,052	[-2, 043; 1, 730]
	Y	-3.958	3,510	[-5, 268; -2, 648]
	X	-18,574	2,810	[-19, 623; -17, 525]
	A	-17,033	1,685	[-17, 663; -16, 405]
	T	-2,862	4,101	[-4, 393; -1, 331]
	P_{1M}	-6,497	5,610	[-8, 591; -4, 402]

Tabla 5.4: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de 1x1 rib entre los estados de relajación DDR-DWR.

Tejido	Variable	Variación DDR-DWR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
19.44 Tex	P	8,877	2,852	[5, 196; 5, 558]
	C	0,002	0,040	[-0, 007; 0, 0012]
	DM	6,023	3,483	[5, 192; 6, 854]
	G	6,642	3,179	[5, 883; 7, 400]
	LM	1,746	2,877	[1, 060; 2, 433]
	Y	-5,483	2,559	[-6, 093; -4, 873]
	X	-0,043	3,996	[-0, 996; 0,910]
	A	-1,386	2,690	[-2, 027; -0, 745]
	T	0,127	3,821	[-0, 783; 1, 039]
	P_{1M}	1,771	5,077	[0, 560; 2, 982]
	%L	-4,700	1,803	[-5, 129; -4, 271]
	%A	2,013	0,849	[2, 740; 8, 834]
	21,96 Tex	P	4,570	2,004
C		0,009	0,029	[0, 001; 0, 017]
DM		5,479	2,576	[4, 813; 6, 145]
G		5,907	2,992	[5, 134; 6, 681]
LM		1,711	3,123	[0, 904; 2, 518]
Y		-4.336	1,838	[-4, 810; -3, 862]
X		-0,810	2,857	[-1, 548; -0, 073]
A		-0,878	2,157	[-1, 435; -0, 321]
T		0,305	3,673	[-0, 644; 1, 254]
P_{1M}		1,210	4,788	[-0, 026; 2, 448]
%L		-4,477	1,129	[-4, 768; -4, 186]
%A		-0,773	2,967	[-1,539; -0, 007]
11,77 Tex CO + 22 dTex EA		P	8,758	2,607
	C	-0,036	0,024	[-0, 045; -0, 028]
	DM	4,791	2,844	[3, 728; 5, 853]
	G	5,980	1,561	[5, 396; 6, 563]
	LM	-3,187	1,733	[-3, 834; -2, 540]
	Y	-8,002	2,207	[-8, 825; -7, 178]
	X	3,824	2,527	[2, 880; 4, 769]
	A	2,832	1,195	[2, 385; 3, 278]
	T	0,395	3,452	[-0, 894; 1, 684]
	P_{1M}	0,932	4,888	[-0, 893; 2, 758]
	%L	-7,280	1,305	[-7, 767; -6, 793]
	%A	2,013	0,8849	[1, 696; 2, 331]

La figura 5.3 muestra las variaciones dimensionales porcentuales de las variables más significativas para los tejidos de 1x1 rib analizados.

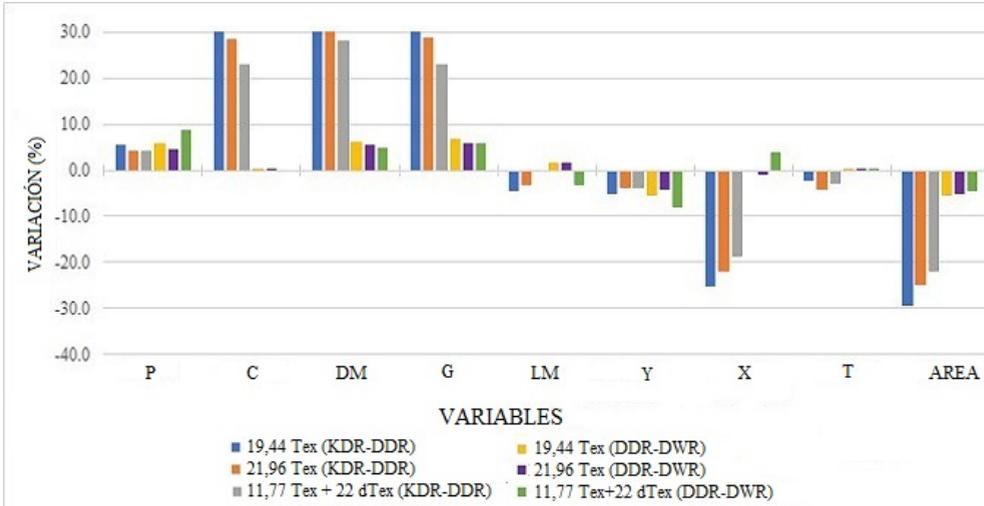


Figura 5.3: Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de 1x1 rib, dos de las cuales con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100%, y una tercera con 11,77 Tex vanisado en alimentadores alternos en las agujas del plato con 22 dTex de elastano, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

Se observa cómo las mayores variaciones se obtienen en los estados de relajación KDR-DDR, siendo las variables *C* y *DM* y *G*, las que presentan un mayor incremento, mientras que las variables *X* y *Area* son las que más decrecen. Sin embargo, entre los estados de relajación DDR-DWR las variaciones porcentuales no son tan significativas.

La variable *X* presentó la mayor variación después del proceso de tintura encogiéndose una media de hasta un 22% y no ensancharse en más de un 0,9% en los tejidos de algodón, pero se ensanchó en casi un 4% en los tejidos de algodón/elastano cuando alcanzan su estado de relajación máximo. Por lo tanto, la forma de la malla cambió en sentido al ancho. Después del proceso de tintura, la variable *Y* se redujo en menos de un 5,2% de media en todos los casos. Sufrió su variación más marcada al encogerse hasta un 8% entre los estados de relajación DDR-DWR, lo que confirió al tejido su estado de máxima relajación.

La figura 5.4 muestra la misma estructura de 1x1 rib con el hilo de algodón de título 21,96 Tex en los estados de relajación KDR, DDR y DWR.

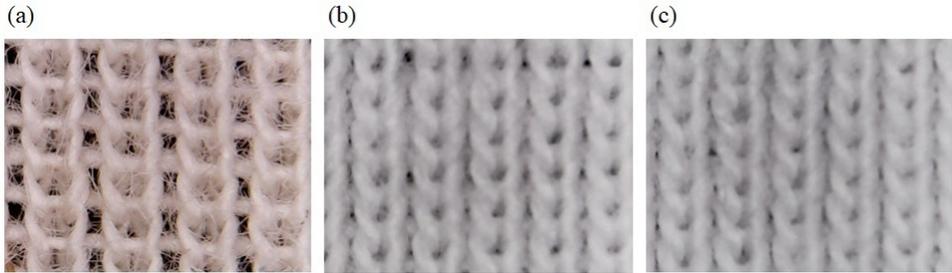


Figura 5.4: Estructura de 1x1 rib con hilo de título 21,96 Tex de algodón 100% en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).

5.2.3 Tejidos de Punto liso

Las tablas 5.5 y 5.6 muestran los resultados de las variaciones porcentuales de las variables analizadas para los tejidos de punto liso.

Tabla 5.5: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de punto liso entre los estados de relajación KDR-DDR.

Tejido	Variable	Variación KDR-DDR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
15.83 Tex	P	-16,552	3,637	[-17, 388; -15, 715]
	C	50,058	7,452	[48, 343; 51, 773]
	DM	25,180	7,696	[23, 409; 26, 951]
	G	21,377	8,147	[19, 502; 23, 252]
	LM	0,712	4,033	[-0, 215; 1, 641]
	Y	20,056	5,160	[18, 868; 21, 244]
	X	-33,192	3,408	[-33, 976; -32, 408]
	A	-33,623	3,003	[-34, 313; -32, 933]
	T	-1,868	5,428	[-3, 116; -0, 619]
	P_{1M}	-2,699	6,519	[-4, 199; -1, 200]
19,44 Tex	P	-13,235	1,818	[-14, 086; -12, 384]
	C	33,454	3,308	[31, 905; 35, 003]
	DM	15,756	2,297	[14, 680; 16, 831]
	G	14,016	1,453	[13, 336; 14, 697]
	LM	-1,312	2,425	[-2, 447; -0, 177]
	Y	15,302	2,425	[14, 167; 16, 437]
	X	-25,024	1,838	[-25, 884; -24, 165]
	A	-25,679	1,399	[-26, 334; -25, 025]
	T	-3,044	5,564	[-5, 647; -0, 440]
	P_{1M}	-3,171	6,310	[-6, 124; -0, 219]
21,96 Tex	P	-15,331	1,184	[-15, 885; -14, 777]
	C	43,235	3,236	[41, 719; 44, 747]
	DM	21,261	2,618	[20, 036; 22, 486]
	G	16,622	1,918	[15, 624; 17, 420]
	LM	-1,120	2,301	[-2, 197; -0, 043]
	Y	18,128	1,644	[17, 359; 18, 898]
	X	-30,151	1,539	[-30, 870; -29, 431]
	A	-27,064	0,479	[-27, 287; -26, 840]
	T	-4,747	3,511	[-6, 390; -3, 104]
	P_{1M}	-6,549	3,921	[-8, 383; -4, 714]

Tabla 5.6: Variaciones porcentuales obtenidas del análisis de tres estructuras de punto liso entre los estados de relajación DDR-DWR.

Tejido	Variable	Variación DDR-DWR (%)		
		\bar{x}	s_i	IC
15,83 Tex	P	9,472	2,175	[8, 971; 9, 973]
	C	-0,014	0,019	[-0, 019; -0, 011]
	DM	7,872	1,907	[7, 433; 8, 312]
	G	9,205	2,018	[8, 740; 9, 669]
	LM	-0,664	2,092	[-1, 144; -0, 183]
	Y	-8,617	1,810	[-9, 033; -8, 201]
	X	1,497	1,910	[1, 057; 1, 933]
	A	0,993	1,102	[0, 739; 1, 243]
	T	0,322	4,313	[-0, 670; 1, 315]
	P_{1M}	1,152	5,054	[-0, 010; 2, 315]
	%L	-9,403	1,949	[-9, 851; -8, 955]
	%A	1,301	1,230	[1, 018; 1, 585]
19,44 Tex	P	7,645	2,116	[6, 654; 8, 635]
	C	0,012	0,020	[0, 003; 0, 0022]
	DM	8,979	2,623	[7, 751; 10, 203]
	G	7,775	1,516	[7, 066; 8, 485]
	LM	-0,305	1,093	[-0, 816; 0, 207]
	Y	-7,068	1,814	[-7, 916; -6, 220]
	X	-1,196	1,196	[-2, 109; -0, 283]
	A	0,587	0,702	[0, 258; 0, 916]
	T	1,016	6,065	[-1, 822; 3, 855]
	P_{1M}	-0,480	5,173	[-2, 901; 1, 941]
	%L	-7,680	1,302	[-8, 289; -7, 071]
	%A	0,900	1,077	[0, 395; 1, 404]
21,96 Tex	P	7,660	1,486	[6, 964; 8, 353]
	C	-0,008	0,015	[-0, 014; -0, 001]
	DM	6,845	2,288	[5, 774; 7, 917]
	G	5,265	0,927	[4, 830; 5, 699]
	LM	-0,307	0,942	[-0, 747; 0, 134]
	Y	-7,098	1,281	[-7, 698; -6, 499]
	X	0,786	1,517	[0, 076; 1, 497]
	A	1,034	0,649	[0, 730; 1, 338]
	T	0,007	3,402	[-1, 585; 1, 599]
	P_{1M}	0,479	3,847	[-1, 321; 2, 279]
	%L	-6,060	0,864	[-6, 464; -5, 556]
	%A	0,980	0,728	[0, 639; 1, 321]

La figura 5.5 ilustra gráficamente las variaciones porcentuales de las variables estudiadas en las estructuras de punto liso.

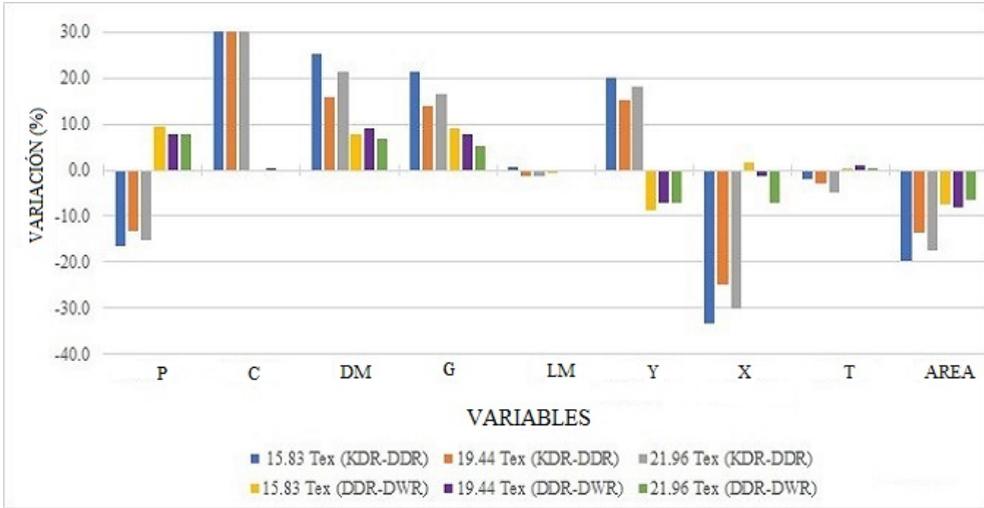


Figura 5.5: Variaciones dimensionales porcentuales obtenidas del análisis de las tres estructuras de punto liso hechas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

En los tejidos de punto liso, se observa cómo entre los estados de relajación KDR-DDR la variable *C* es la que mayor incremento presenta, mientras que la variable *P* disminuye de una forma mucho más discreta. Las variables *DM* y *G* presentan también un aumento significativo entre estos dos estados de relajación, mientras que las variables *X* y *Area* son las que más decrecen. Sin embargo, entre los estados de relajación DDR-DWR las variaciones no son tan relevantes. La variación de la *LM* en todos los estados de relajación tampoco es relevante.

Se concluye que la variable *LM* no es lo suficientemente significativa como para explicar la variación dimensional en los tejidos de punto liso entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR. La forma de la malla en cada estado de relajación, caracterizada por las variables dimensionales *Y* y *X*, serían las responsables principales de la variación dimensional de los tejidos de punto liso.

La figura 5.6 muestra la misma estructura de punto liso con título de hilo de 21,96 Tex de algodón 100 % en los estados de relajación KDR, DDR y DWR.

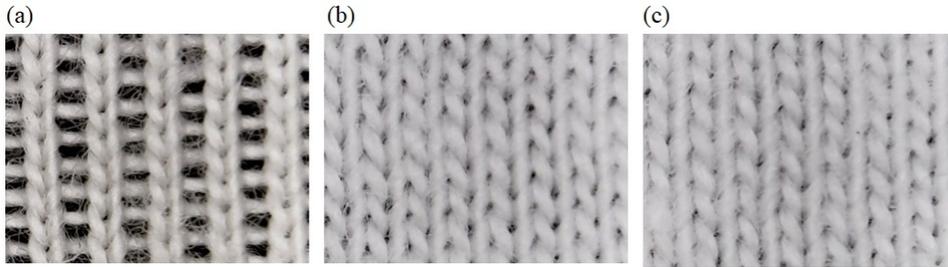


Figura 5.6: Estructura de punto liso con hilo de título 21,96 Tex de algodón 100 % en los estados de relajación KDR (a), DDR (b) y DWR (c).

La conclusión extraída de los resultados obtenidos después de analizar los tejidos con estructura de interlock, punto liso y 1x1 rib, fue que el encogimiento del tejido no es causado por cambios en la longitud de malla ya que la configuración de la malla en cada estado de relajación es la principal responsable.

Después de concluir que la forma de la malla en cada estado de relajación es la principal responsable de la variación dimensional en todas las estructuras de interlock, 1x1 rib y punto liso analizadas entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR, se analizará la relación existente entre estas estructuras para obtener modelos para la predicción de la estabilidad dimensional en sentido longitudinal ($\%L$) y transversal ($\%A$) en el estado de máxima relajación (DWR). La forma de la malla adoptada en cada estado de relajación, que es caracterizada por las variables *alto de malla* (Y) y *ancho de malla* (X) serían principalmente las responsables de la variación dimensional. Es por eso que las variables elegidas para predecir la variación dimensional fueron Y y X . En la figura 2.32 se puede ver de forma gráfica cómo estas variables representan respectivamente la dimensión longitudinal y transversal de la malla.

Los modelos obtenidos por regresión lineal para predecir las variables Y y X en el estado de relajación DWR, utilizando las mismas variables conocidas en el estado de relajación DDR, se muestran en la tabla 7.1.

Las figuras 5.7 y 5.8 representan gráficamente los modelos obtenidos por regresión lineal para estimar las variables Y y X en el estado de relajación DWR, a partir del conocimiento de la misma variable en el estado de relajación DDR, para las estructuras de 1x1 rib y punto liso respectivamente.

Tabla 5.7: Modelos propuestos por regresión lineal para estimar las variables Alto de Malla (Y) y Ancho de Malla (X) en los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso analizados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
Interlock	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,907501 \cdot Y_{DDR}$	99,90
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 1,040398 \cdot X_{DDR}$	99,88
1x1 rib	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,944945 \cdot Y_{DDR}$	99,93
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 0,999866 \cdot X_{DDR}$	99,87
Punto liso	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,918711 \cdot Y_{DDR}$	99,96
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 1,007812 \cdot X_{DDR}$	99,96

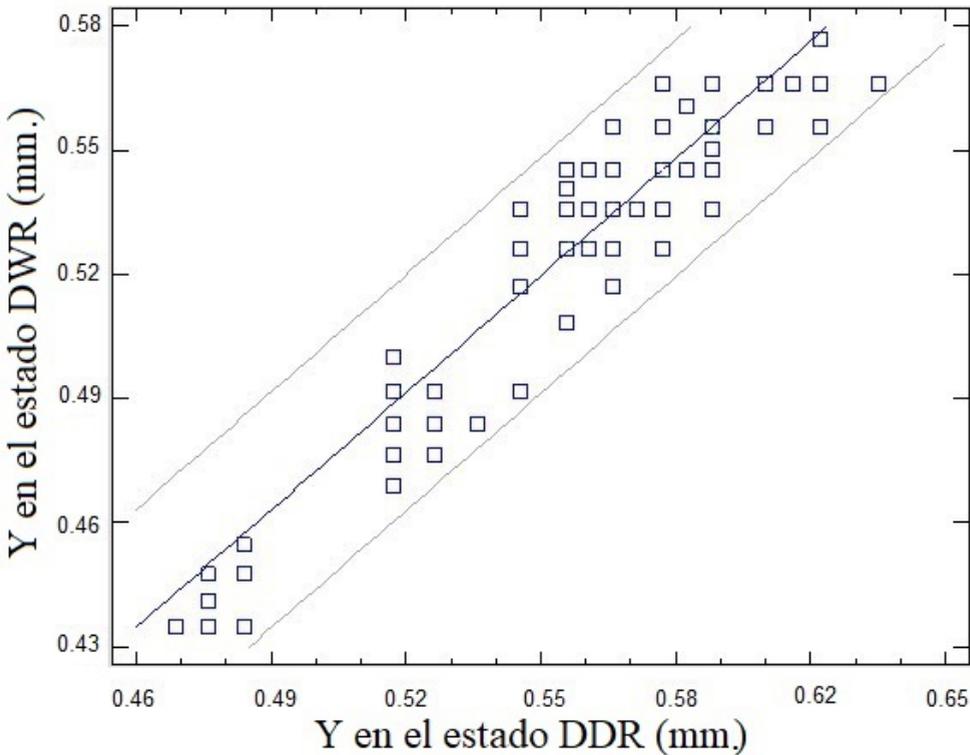


Figura 5.7: Representación gráfica del modelo obtenido por regresión lineal para predecir la variable alto de malla (Y) en el estado de relajación DWR conociendo el valor de la misma variable en el estado DDR para las estructuras de 1x1 rib.

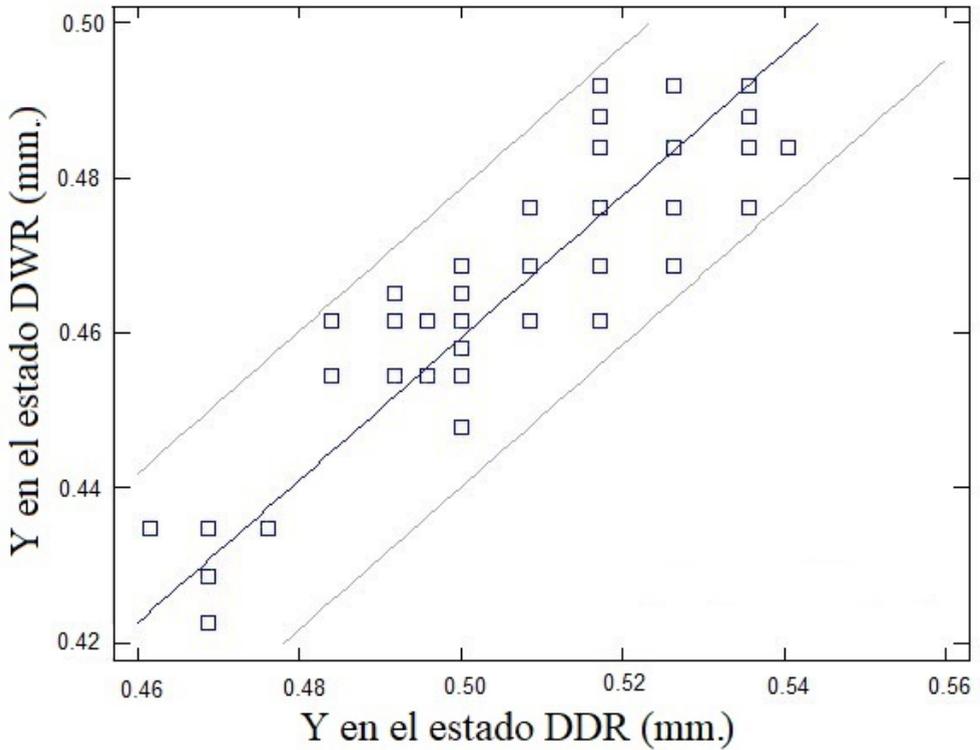


Figura 5.8: Representación gráfica del modelo obtenido por regresión lineal para predecir la variable alto de malla (Y) en el estado de relajación DWR conociendo el valor de la misma variable en el estado DDR para las estructuras de punto liso.

Una vez conocido el valor de las variables Y y X , la variación dimensional en sentido longitudinal y al ancho se pueden estimar a partir de las ecuaciones 5.3 y 5.4.

$$L(\%) = \frac{Y_{DWR} - Y_{DDR}}{Y_{DDR}} \cdot 100 \quad (5.3)$$

$$A(\%) = \frac{X_{DWR} - X_{DDR}}{X_{DDR}} \cdot 100 \quad (5.4)$$

Con los modelos propuestos para las estructuras de interlock, 1x1 rib y punto liso (figura 7.1), se puede predecir el encogimiento longitudinal y transversal

con el conocimiento de las variables independientes Y y X en el estado de relajación DDR. Estos modelos presentaron una R^2 superior al 99 % en todos los casos, lo que explica muy bien la variabilidad según la linealidad con las variables independientes Y y X . Esto agiliza el proceso para su cálculo porque evita tener que aplicar el procedimiento habitual según norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012, procedimiento 4N. Esto ahorra tiempo al no tener que realizar todo el proceso.

A continuación se validaron los modelos propuestos mediante un proceso que consistió en analizar el conjunto de los elementos representativos de cada tejido y diámetro de máquina. Este análisis implicó determinar la variación dimensional en sentido longitudinal y al ancho según norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012 para así, obtener el valor real.

Paralelamente, estas variables se estimaron utilizando los modelos propuestos. El error estimado sería la diferencia entre los valores estimados y los valores reales.

Los errores estimados de los modelos propuestos para estimar la variación dimensional en los tejidos de punto de 1x1 rib, interlock y punto liso en el estado de relajación DWR fueron menores y siempre por debajo del 2 % tanto para el sentido longitudinal como transversal. Por lo tanto, se concluye que estos modelos presentaron de manera muy eficiente la variabilidad obtenida de todas las estructuras de tejido propuestas. Esto se evidenció en los resultados obtenidos en las estructuras de interlock, punto liso y 1x1 rib: el encogimiento de los tejidos no fue causado por cambios en la longitud del hilo porque la configuración de la malla en cada estado de relajación fue el factor más responsable.

5.3 Conclusión

Este estudio investigó las variaciones en los valores porcentuales obtenidos con las variables dimensionales analizadas en las tres estructuras básicas de punto liso, 1x1 rib e interlock. Para cada estructura se analizaron tres tipos de tejido con diferentes títulos y longitudes de máquina.

Los resultados obtenidos en las estructuras de interlock, punto liso y 1x1 rib evidenciaron que el encogimiento del tejido no es causado por cambios en la longitud del hilo porque la configuración de la malla en cada estado de relajación fue el factor más responsable.

Se descubrió que la longitud de la malla afectaba a las dimensiones del tejido cuando los alimentadores de la máquina de tejer se alimentaban con más o menos hilo, lo que, por lo tanto, conduciría a tejidos de punto con mallas más apretadas o flojas. Después de tejer la estructura, la forma del bucle dentro del tejido en cada estado de relajación sería responsable principalmente de las variaciones dimensionales. En gran medida, la forma de las mallas dependería de las tensiones que sufran los tejidos, provocadas por estiramientos durante el proceso productivo. Esto significa que la malla tiene que tomar una forma determinada, ya que ella misma no es capaz de superar las fuerzas de rozamiento que existen entre ellas para volver a su estado de mínima energía. Esto también significa que serán necesarios varios ciclos de lavado con agitación para que los tejidos puedan volver a su estado de máxima relajación.

Se han propuesto modelos de regresión lineal para predecir las variables dimensionales *Alto de Malla* y *Ancho de Malla* en el estado de relajación DWR para las estructuras de interlock, 1x1 rib y punto liso. A partir del conocimiento de estas variables se llega a la predicción del encogimiento longitudinal y transversal de los tejidos propuestos, lo que agiliza el proceso de cálculo de los mismos al evitar tener que aplicar el procedimiento convencional según norma UNE EN ISO 6330 de septiembre de 2012.

Al validar estos modelos, los errores estimados fueron muy leves. Por lo tanto, se concluye que estos modelos explican la variabilidad obtenida de cada una de las estructuras de tejido propuestas.

Todos estos resultados demuestran que los modelos propuestos son adecuados para calcular la estabilidad dimensional en sentido longitudinal y transversal de los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso analizados, a partir del conocimiento de las variables *alto de malla* (Y) y *ancho de malla* (X) en el estado de relajación de *Tintura y Relajación en Seco* (DDR).

Este estudio es de gran relevancia para los técnicos de las industrias textiles ya que simplifica enormemente los cálculos de producción realizados en las empresas de tejidos de punto por trama. Ofrece un método eficaz para predecir encogimientos, tanto longitudinales como transversales, de los tejidos de punto después del proceso de tintura a partir de la forma que adopte la malla después del proceso de tejeduría. La aplicación de los resultados de este estudio puede ahorrar a las empresas un tiempo considerable y, en consecuencia, implica un ahorro de inversión en stocks de productos intermedios. Al aplicar el modelo desarrollado, las empresas ya no necesitan utilizar métodos de cálculo comunes de acuerdo con la norma UNE EN ISO 6330-2012, que requiere una parada de la producción de un día.

Capítulo 6

Discusión general de los resultados

Este capítulo recoge la discusión de los resultados obtenidos en el desarrollo de esta tesis.

6.1 Discusión

Se indica a continuación la discusión de los resultados obtenidos en esta tesis referente a las variaciones dimensionales de cada una de las variables analizadas de las estructuras de tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso.

6.1.1 Tejidos de Interlock

Columnas/cm. (C)

En la figura 6.1 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

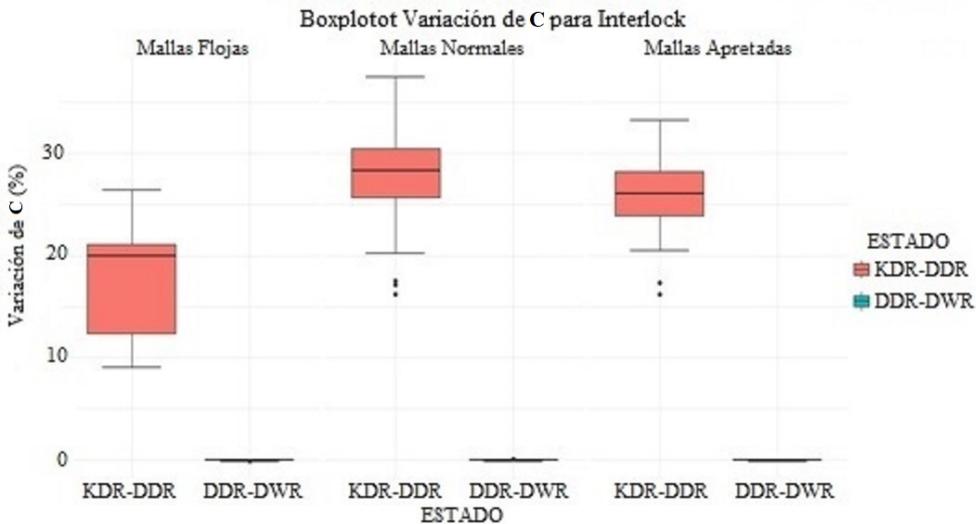


Figura 6.1: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre el estado de relajación KDR-DDR se han presentado incrementos máximos de hasta un 28 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR se puede decir que no presenta variación, ya que el resultado obtenido en ningún caso supera el 0,1 %.

Se evidencia que durante el proceso de tintura el tejido ha sido sometido a una serie de estirajes, provocándole unas tensiones que no han sido posibles eliminar por completo. La eliminación de estas tensiones por completo provoca que el tejido llegue a su estado de máxima relajación y ésto se produce tras el lavado en el estado de relajación DWR. En este estado se produce un aumento de la densidad de columnas.

Pasadas/cm (P)

En la figura 6.2 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

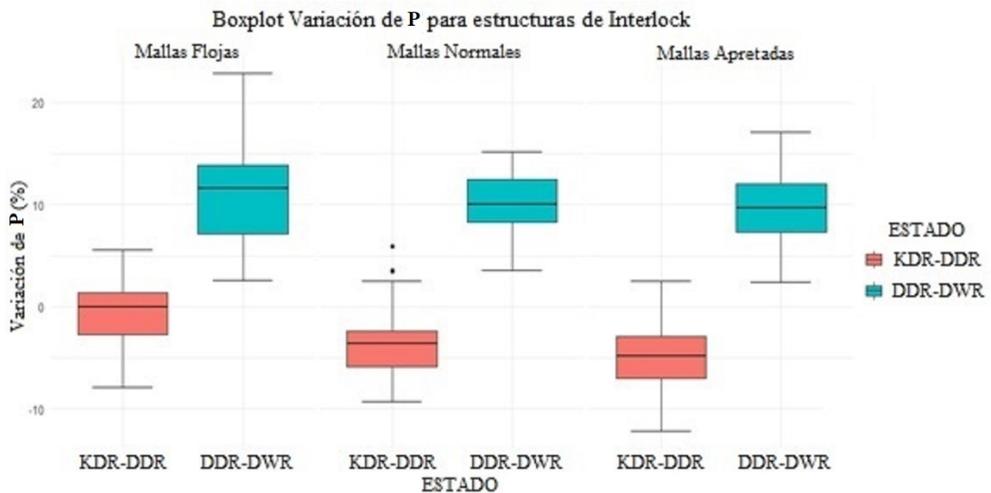


Figura 6.2: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apertadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se aprecia una disminución porcentual menor del 5,5%.
- La variación entre los estados de relajación DDR-DWR presenta un aumento de hasta el 11,3%.

La variable Pasadas/cm es la que presenta mayor variación porcentual de todas las variables analizadas.

Densidad de Malla (DM)

En la figura 6.3 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

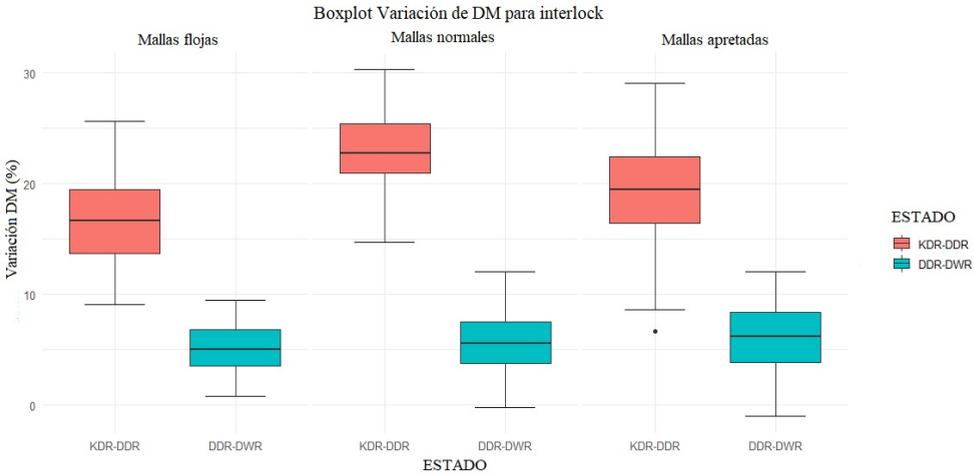


Figura 6.3: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100 % con mallas flojas (LM=0,360 cm), mallas normales (LM=0,340 cm) y mallas apretadas (LM=0,320 cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre el estado de relajación KDR-DDR se experimenta un incremento mayor del 16 %, siendo el más elevado en los tejidos de mallas normales (casi el 23 %).
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la variación porcentual es mucho menor y en ningún caso supera el 6,2 %, siendo este valor correspondiente a los tejidos de mallas apretadas.

Ancho de Malla (X)

En la figura 6.4 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

- La variación porcentual entre los estados de relajación KDR-DDR puede llegar hasta una contracción del 22 % aproximadamente.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la variación porcentual aumenta hasta un 6 %.

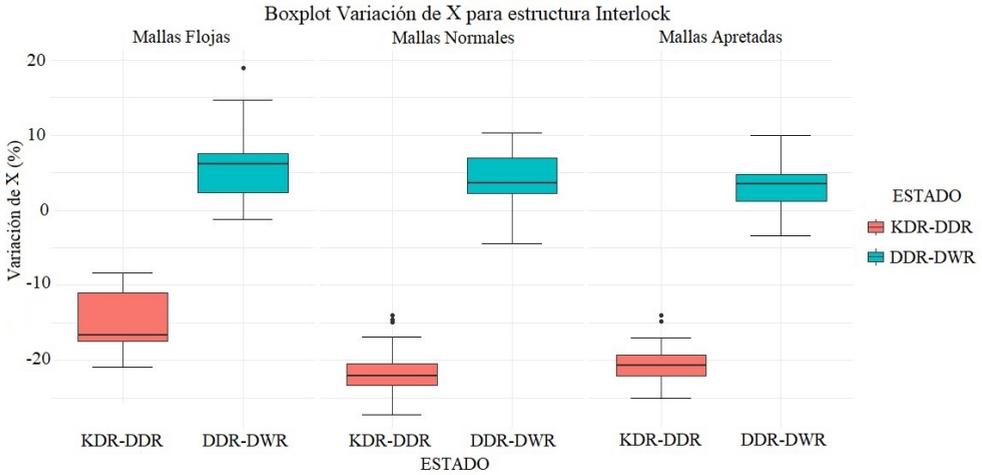


Figura 6.4: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

Alto de Malla (Y)

En la figura 6.5 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

- La variación obtenida entre los estados de relajación KDR-DDR presenta un ligero aumento porcentual de hasta el 5,8%.
- Entre el estado de relajación DDR-DWR el valor porcentual puede disminuir hasta un 10% alcanzando la dimensión de la malla que corresponde con la de máxima relajación, eliminando, así pues, todas las tensiones acumuladas durante el proceso productivo

Longitud de Malla (LM)

En la figura 6.6 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *longitud de malla (LM)*.

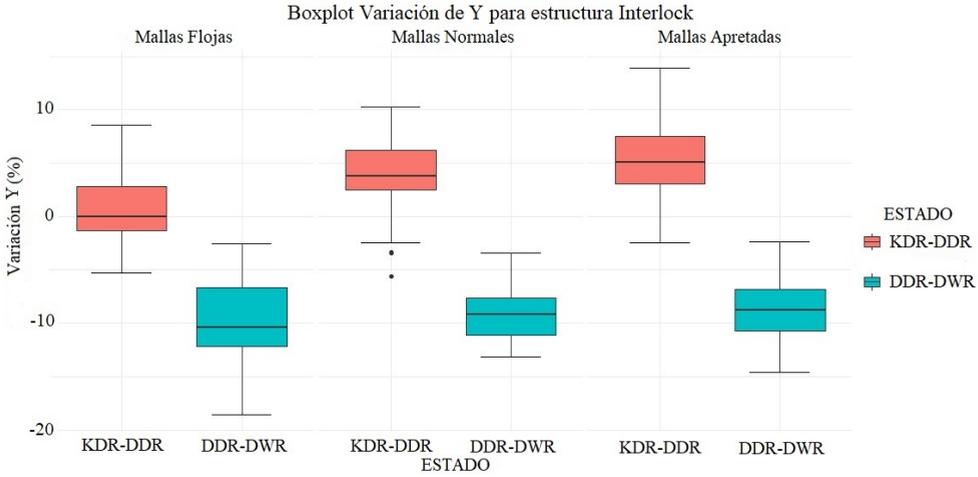


Figura 6.5: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

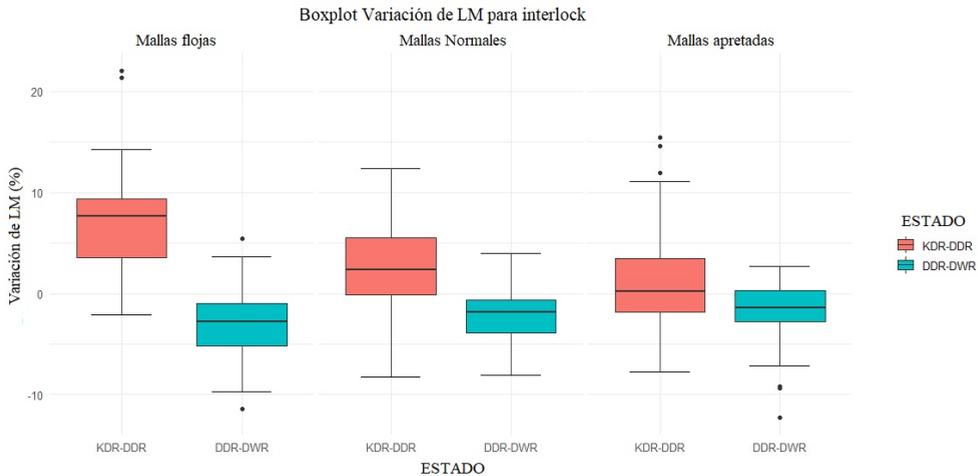


Figura 6.6: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR esta variable presenta su mayor variación, de hasta un 7,5%, presentando el incremento mayor en los tejidos con mallas flojas.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la *longitud de malla* presenta una disminución en su longitud que no excede del 3%.

Título (T)

En la figura 6.7 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Título* (T).

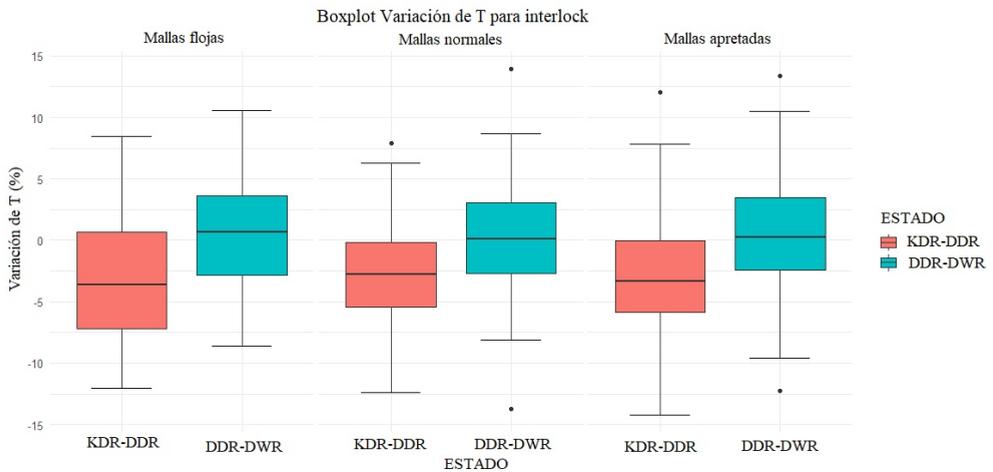


Figura 6.7: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR el valor porcentual decrece hasta un 3,1%.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR se puede decir que prácticamente no varía ya que los incrementos observados son inferiores al 0,4%.

Masa laminar (G)

En la figura 6.8 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Masa laminar* (G).

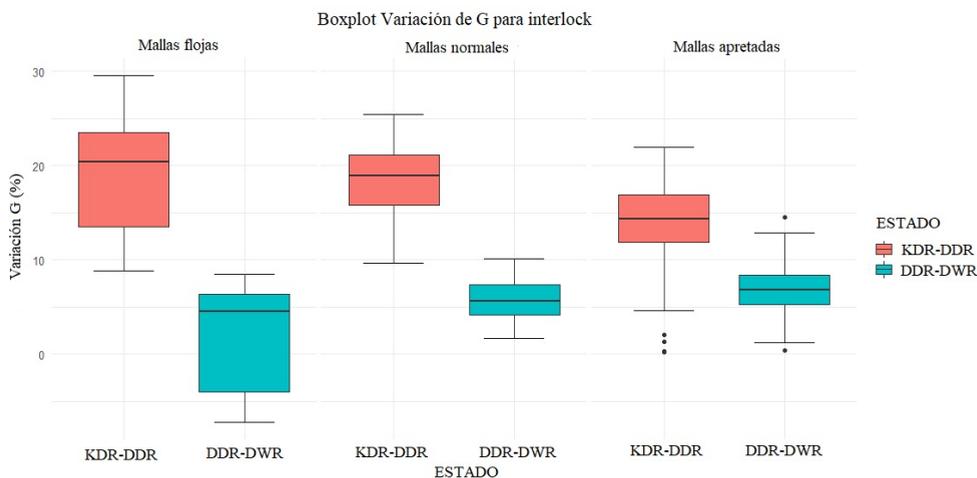


Figura 6.8: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras de interlock producidas por 19,44 Tex de algodón 100% con mallas flojas ($LM=0,360$ cm), mallas normales ($LM=0,340$ cm) y mallas apretadas ($LM=0,320$ cm) entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR la masa laminar presenta un incremento de casi el 19,3% siendo este valor el presentado en los tejidos con mallas flojas. Por contra, el incremento más pequeño lo presentan los tejidos de mallas apretadas (13,637%).
- Entre los estados de relajación DDR-DWR el incremento porcentual de la masa laminar no es tan elevado ya que no supera el 7% en los casos de los tejidos realizados con mallas apretadas. El menor valor se encuentra en los tejidos de mallas flojas (2,146%).

Ésto evidencia que los tejidos de mallas flojas pueden alcanzar antes el estado de mínima energía que los realizados con mallas apretadas, ya que estos últimos presentan tensiones entre las mallas mucho más difíciles de vencer.

Con esto se puede concluir que la variación estructural de los hilos que forman los tejidos de interlock presentan su mayor cambio dimensional después del

proceso de tintura incrementando su longitud hasta un 7,5 % en los tejidos de mallas más flojas.

En el estado de relajación DWR la variación no supera el encogimiento del 3,1 %. Pero esta variación es relativamente pequeña cuando se compara con las obtenidas en las variables dimensionales X e Y, siendo la variable Y la que mayor contracción presenta después del proceso de tintura, mientras que la variable X presenta su mayor contracción después del estado DWR. Estas dos variables son las que determinan la forma de la malla en cada estado de relajación y, por tanto, la forma adoptada dentro del tejido en cada estado de relajación será la que determinará en mayor medida la variación dimensional del tejido.

6.1.2 Tejidos de 1x1 rib

Columnas/cm. (C)

En la figura 6.9 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

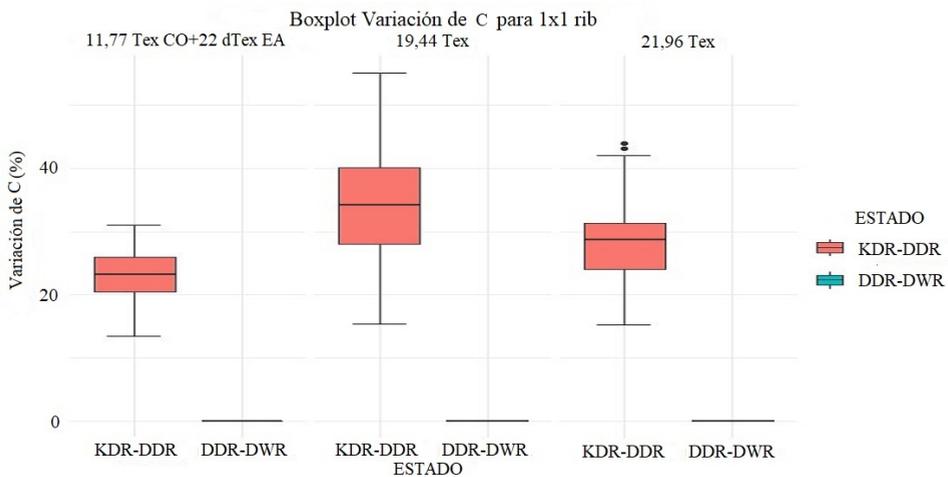


Figura 6.9: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre el estado de relajación KDR-DDR en los tejidos de algodón 100 % presentan aumentos en la densidad de pasadas de hasta un 35 %, mientras

en los tejidos de algodón/elastano la variación no supera el 23%. Son las mayores variaciones dimensionales de todas las variables analizadas.

- Entre los estados de relajación DDR-DWR se puede decir que no presenta variación en todos los tejidos analizados.

Pasadas/cm (P)

En la figura 6.10 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

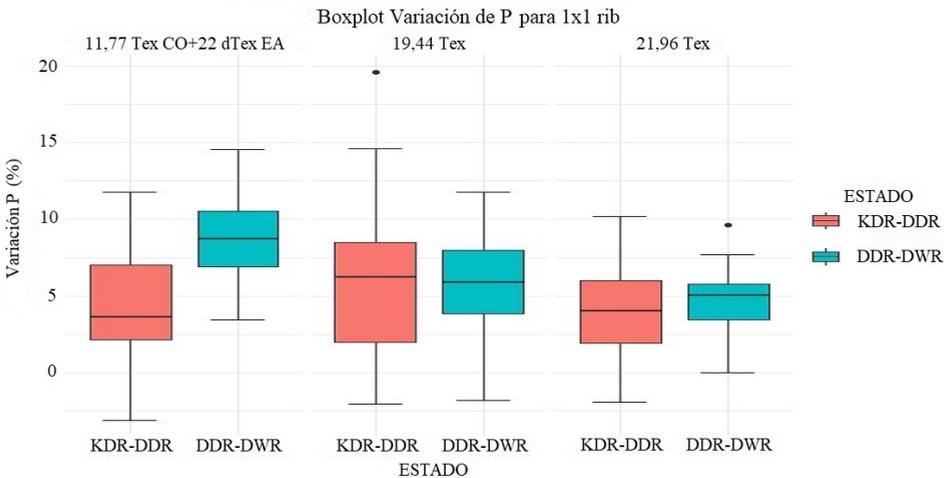


Figura 6.10: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras analizaas de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100% y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se aprecia una disminución porcentual menor del 6%.
- La variación porcentual entre los estados de relajación DDR-DWR sigue presentando un crecimiento, siendo mayor en los tejidos de algodón/elastano llegando hasta un 9%, mientras que en los tejidos de algodón 100% no supera EN NINGÚN CASO EL 6%. Ésto demuestra que todos los tejidos no han alcanzado su estado de máxima relajación.

Densidad de malla (DM)

En la figura 6.11 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

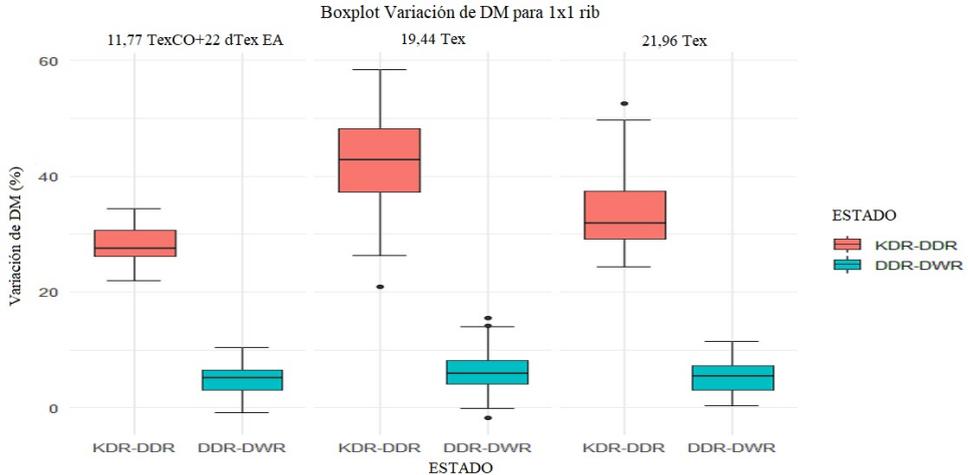


Figura 6.11: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras analizaas de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre el estado de relajación KDR-DDR la variación porcentual tiene un incremento muy acentuado llegando a casi un 42 % en los tejidos realizados con hilos de 19,44 Tex.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la variación es mucho menor no superando el incremento del 6,1 % en ningún caso, siendo este valor el más elevado obtenido en los tejidos realizados con hilo 19,44 Tex.

Ancho de Malla (X)

En la figura 6.12 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

- La variación porcentual entre los estados de relajación KDR-DDR puede llegar hasta una contracción del 30 % en los tejidos de algodón 100 % y de hasta un 33 % en los tejidos de algodón/elastano.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la variación dimensional es mínima llegando a un 1,5 % en valor absoluto.

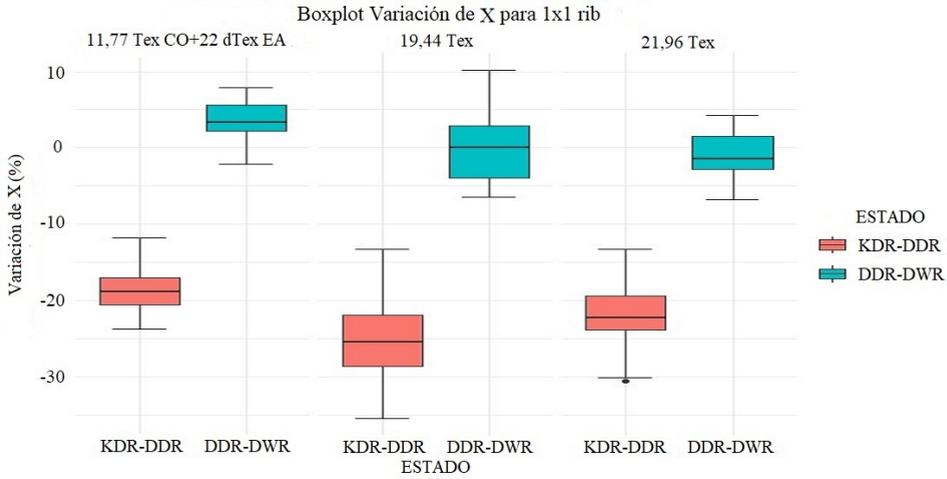


Figura 6.12: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR

Alto de Malla (Y)

En la figura 6.13 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

- La variación obtenida entre los estados de relajación KDR-DDR presenta un ligero descenso porcentual que no supera en ningún caso el 6 % en los tejidos de algodón 100 %, siendo del 4 % en los tejidos de algodón/elastano.
- Entre el estado de relajación DDR-DWR presenta una pérdida dimensional de hasta el 5,5 % en los tejidos de algodón 100 % y del 8 % en los tejidos de algodón/elastano.

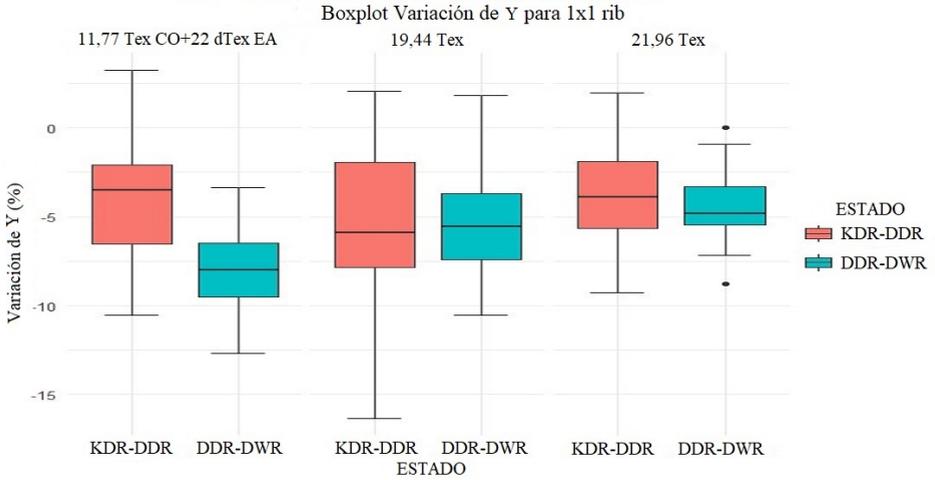


Figura 6.13: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR

Longitud de Malla (LM)

En la figura 6.14 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *longitud de malla (LM)*.

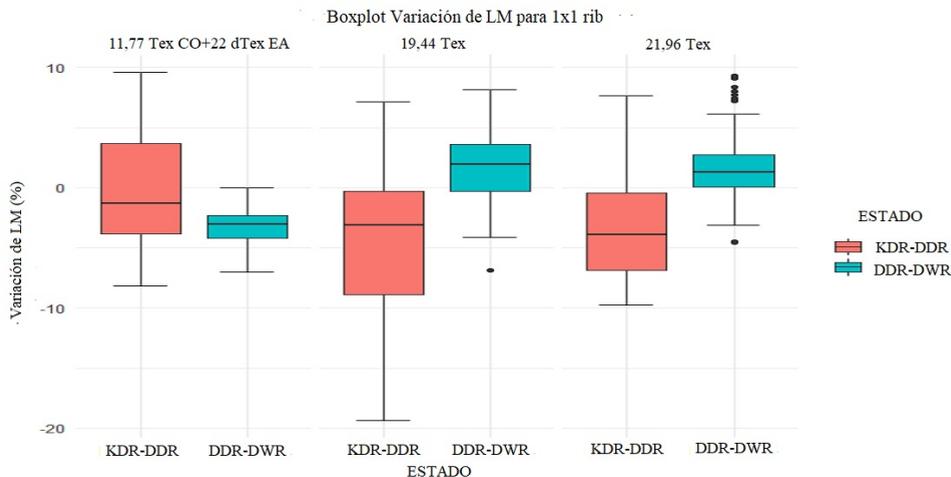


Figura 6.14: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR

- Entre los estados de relajación KDR-DDR presentan una pequeña contracción, mayor en los tejidos de algodón 100 % de hasta un 4,5 % y sin apenas variación en los tejidos con elastano.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la *longitud de malla* presenta una disminución en su longitud que no excede del 1,8 % en los tejidos de algodón 100 %, llegando al 3,2 % en los tejidos con elastano.

Se evidencia en este caso cómo el elastano presente en el tejido ejerce una tensión sobre la malla de algodón y que es incapaz de vencer hasta que no llega a su estado de máxima relajación DWR.

Título (T)

En la figura 6.15 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Título (T)*.

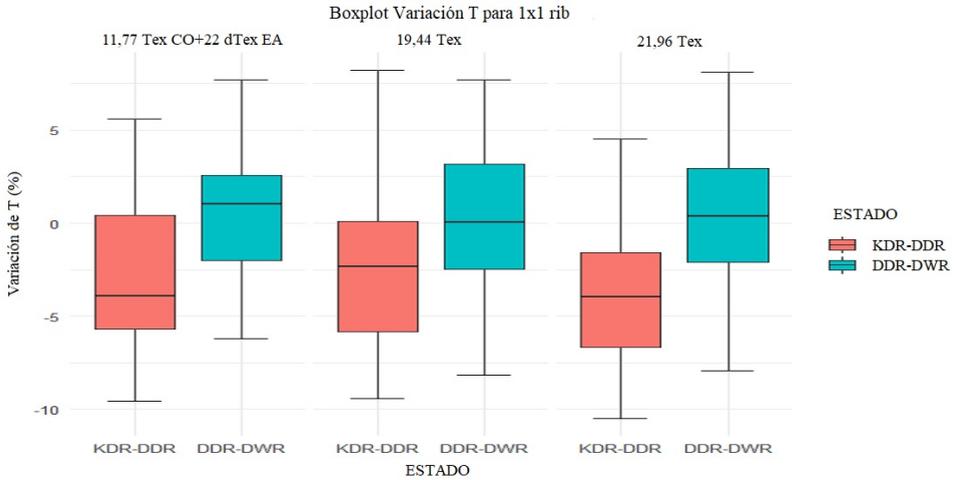


Figura 6.15: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100% y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se produce una contracción de hasta un 4% en los tejidos de algodón 100% y del 2,9% en los tejidos con elastano.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR los incrementos observados son mínimos, inferiores al 1%.

Masa laminar (G)

En la figura 6.16 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Masa laminar (G)*.

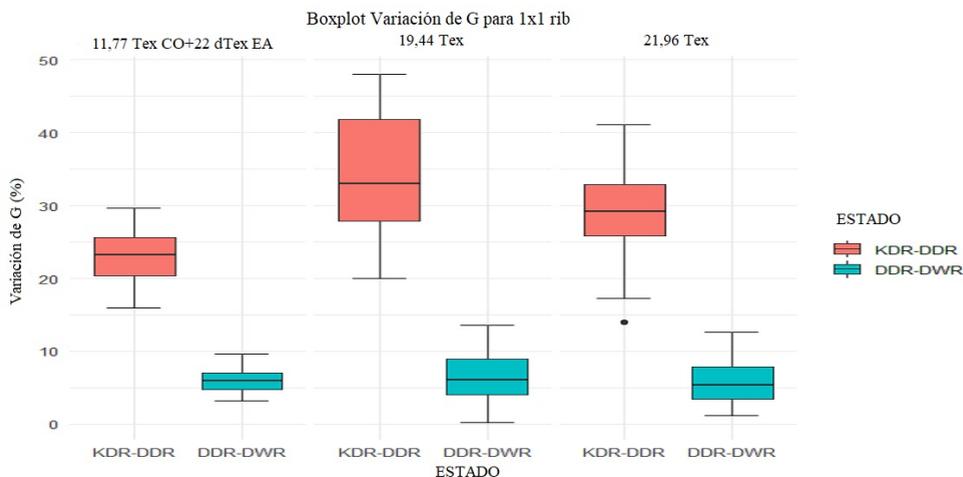


Figura 6.16: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras de 1x1 rib producidas dos de ellas con 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % y una tercera con 11,77 Tex vanisado con elastano de 22 dTex en cursos alternos del plato, entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR

- Entre los estados de relajación KDR-DDR presentan incrementos en el gramaje de hasta el 34,67 %, siendo este valor el mayor encontrado en los tejidos con títulos más finos, mientras que los tejidos con menor incremento de la masa laminar los presentan los tejidos con elastómero.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR el incremento porcentual de la masa laminar no excede del 6,642 % en ninguno de los casos.

Por lo tanto, se puede concluir que los tejidos de 1x1 rib producidos con algodón 100 % son los únicos que presentan una mínima contracción longitudinal del hilo después del proceso de tintura, en todos los casos inferior al 4,5 %, mientras que los tejidos con elastano se puede considerar que no varía.

Entre los estados de relajación DDR-DWR, las contracciones del hilo siempre son inferiores al 3 % en todos los casos. Pero si se compara estas variaciones con las obtenidas en las variables dimensionales X e Y, la variación de la LM se puede considerar poco relevante. Es la variable Y la que presenta una mayor variación después del proceso de tintura contrayéndose hasta un 22 % y alargándose no más de un 6 % cuando alcanza su estado de máxima relajación, cambiando así su forma de la malla en dirección transversal. Mientras tanto, la variable X presenta su mayor cambio dimensional contrayéndose un 10 % entre los estados de relajación DDR-DWR, mientras que después del proceso

de tintura presenta una elongación no superior al 6 %, determinando, así pues, las dimensiones longitudinales de la malla completamente relajada.

6.1.3 Tejidos de Punto Liso

Columnas/cm. (C)

En la figura 6.17 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

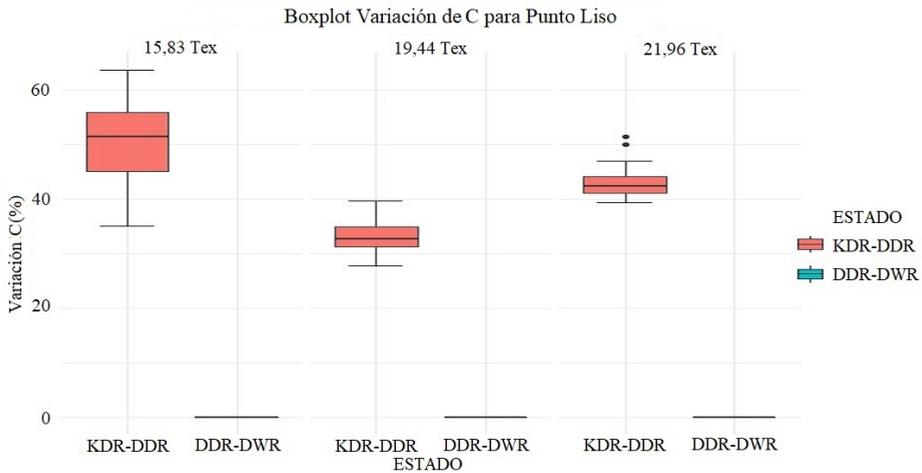


Figura 6.17: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable C de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se presentan aumentos de hasta el 50 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR no existe variación en todos sus tejidos analizados.

Pasadas/cm (P)

En la figura 6.18 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

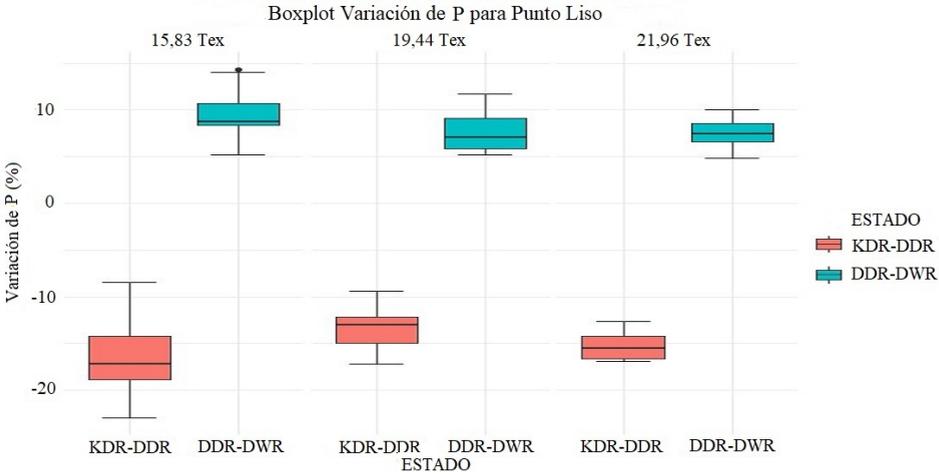


Figura 6.18: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable P de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se presenta un encogimiento de hasta un 17 %.
- La variación porcentual entre los estados de relajación DDR-DWR presenta un crecimiento de hasta un 9,5 %. Se evidencia que los tejidos han presentado estirajes durante el proceso de tintura y éste no ha sido capaz de eliminarlos. La eliminación de estas tensiones se produce en el estado de relajación DWR y es por ello que la variable *Columnas/cm* incrementa su valor porcentual hasta el 9,5 %.

Densidad de malla (DM)

En la figura 6.19 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

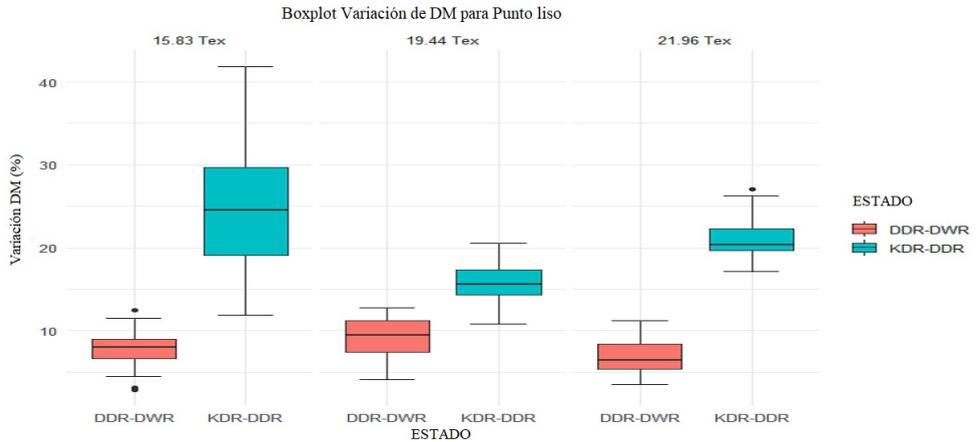


Figura 6.19: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable DM de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR presenta un incremento de la densidad de malla de hasta un 25,2 % en el caso de los tejidos realizados con hilos de título 25,18 Tex.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR presenta un incremento no tan pronunciado nunca superior al 8 %.

Ancho de Malla (X)

En la figura 6.20 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

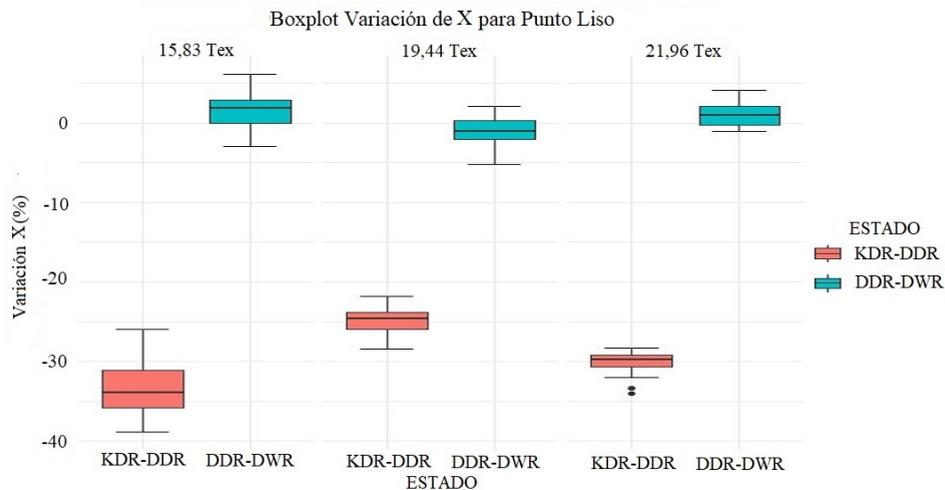


Figura 6.20: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable X de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- La variación porcentual entre los estados de relajación KDR-DDR presenta una contracción de hasta un 33,2 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR la variación porcentual alcanza hasta un 1,5 % en valor absoluto, lo que revela poca relevancia debido a su variación tan pequeña.

Alto de Malla (Y)

En la figura 6.21 se ha representado esta variable mediante un gráfico Boxplot.

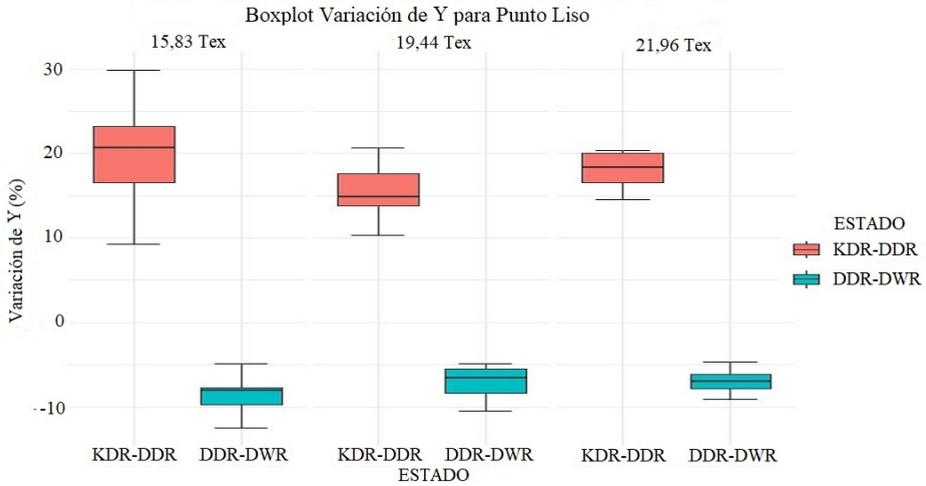


Figura 6.21: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable Y de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR presenta un importante incremento porcentual pudiendo llegar al 20 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR, se presenta un encogimiento de hasta el 8,6 %. Ésto demuestra que los tejidos no habían perdido todas las tensiones acumuladas durante el proceso productivo hasta llegar al estado de relajación DWR.

Longitud de Malla (LM)

En la figura 6.22 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *longitud de malla (LM)*.

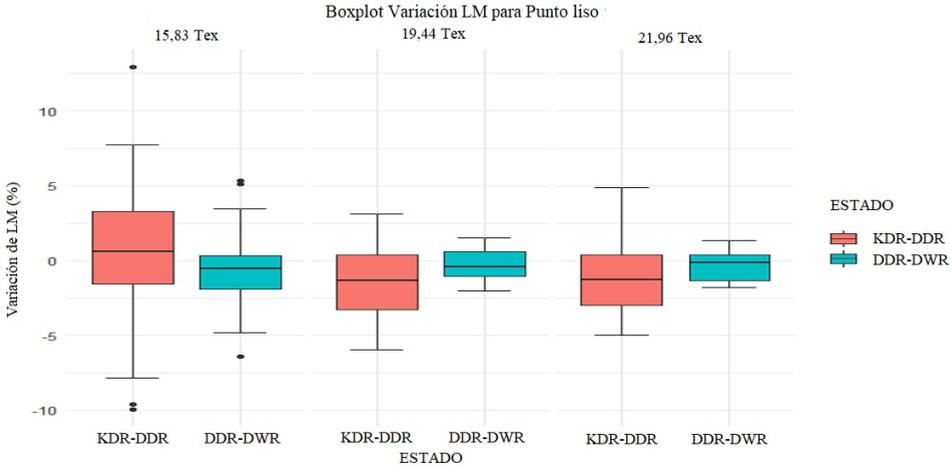


Figura 6.22: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable LM de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR el incremento longitudinal es mínimo, no superando el 1,5 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR las variaciones porcentuales no son relevantes, inferiores al 0,7 %.

Título (T)

En la figura 6.23 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Título (T)*.

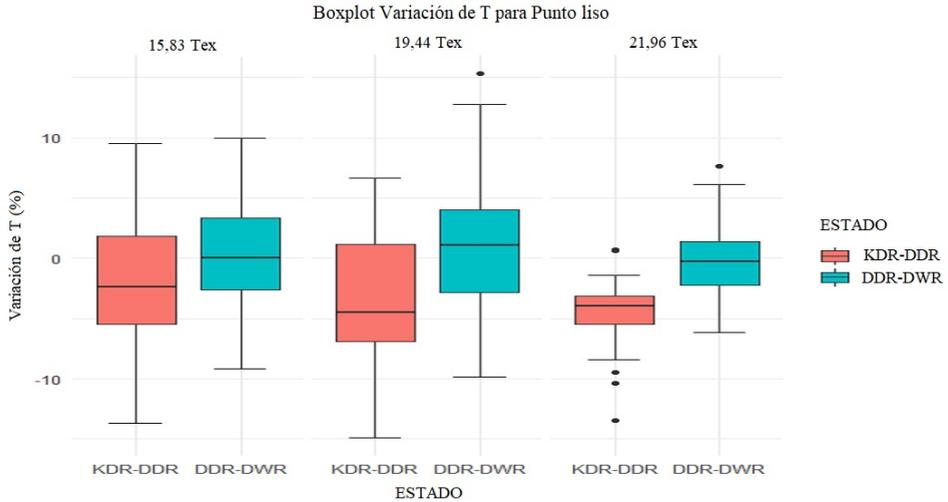


Figura 6.23: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable T de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR se produce una contracción de hasta el 4,8 %.
- Entre los estados de relajación DDR-DWR los incrementos observados inferiores al 1,1 % no son relevantes, en todos los tejidos.

Masa laminar (G)

En la figura 6.24 se representa de forma gráfica la variación porcentual de la variable *Masa laminar (G)*.

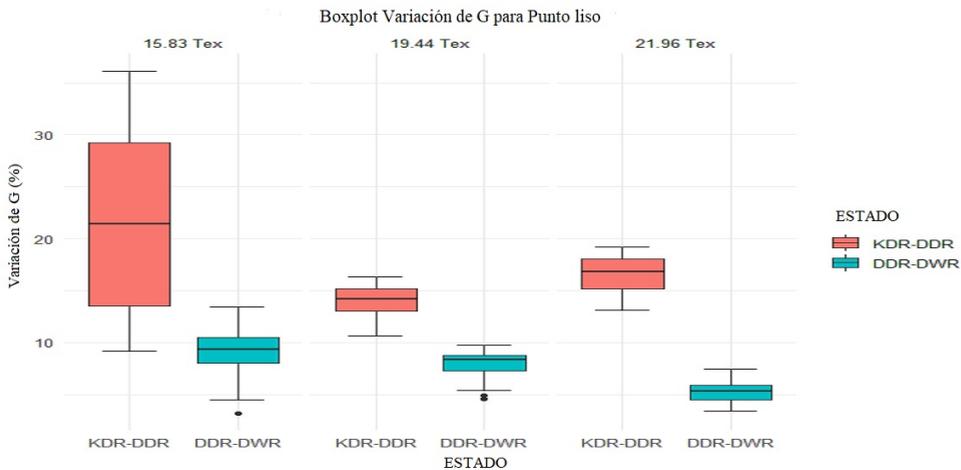


Figura 6.24: Representación gráfica de la variación porcentual de la variable G de las tres estructuras analizadas de Punto Liso producidas con 15,83, 19,44 y 21,96 Tex de algodón 100 % entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR.

- Entre los estados de relajación KDR-DDR presentan incrementos en la masa laminar de hasta el 21,377 % siendo el máximo valor encontrado en los tejidos realizados con hilos más finos (15,83 Tex).
- Entre los estados de relajación DDR-DWR el incremento no es tan elevado presentando su mayor valor en los tejidos de hilos más finos con un 9,205 %.

Se concluye que la LM no es significativa para la explicación de la variación dimensional en los tejidos de punto liso entre los estados de relajación KDR-DDR y DDR-DWR. La forma de la malla que adopta en cada estado de relajación, caracterizada por las variables dimensionales X e Y, serán las mayores responsables de la variación dimensional de los tejidos de punto liso.

Como conclusiones a los resultados obtenidos tras los análisis realizados a los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso, se puede justificar que el encogimiento del tejido no es causado por cambios en la longitud del hilo, **siendo la configuración de la malla en cada estado de relajación la máxima responsable**. Esto justifica que la utilización de la variable *longitud de malla (LM)* para el cálculo de la variación dimensional de los tejidos de punto en sentido longitudinal y transversal no es la más adecuada, ya que no presenta una variación significativa. Es por ello, que cuando se ha intentado modelizar utilizando esta variable los resultados del modelo obtenido no eran satisfacto-

rios, comparados con los obtenidos al utilizar las variables dimensionales Y e X, explicando la variabilidad en más del 98 % en todos los casos.

Capítulo 7

Conclusiones

Conclusión principal

La conclusión principal del trabajo es que “**si**” se puede predecir la variación dimensional de los tejidos de punto por recogida durante todo el proceso productivo sin necesidad de aplicar la norma UNE-EN ISO 6330 de septiembre de 2012, consiguiendo con ello facilitar el proceso de control, acortando la duración del proceso productivo. Se han obtenido unos modelos matemáticos válidos para predecir las variaciones dimensionales en el estado de relajación máxima (DWR) a partir de las variables **Alto de Malla (Y)** y **Ancho de Malla (X)** conocidas en el estado de relajación DDR. Los modelos propuestos se indican en la tabla 7.1.

Tabla 7.1: Modelos propuestos por regresión lineal para estimar las variables Alto de Malla (Y) y Ancho de Malla (X) en los tejidos de interlock, 1x1 rib y punto liso analizados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
Interlock	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,907501 \cdot Y_{DDR}$	99,90
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 1,040398 \cdot X_{DDR}$	99,88
1x1 rib	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,944945 \cdot Y_{DDR}$	99,93
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 0,999866 \cdot X_{DDR}$	99,87
Punto liso	Y_{DWR}	Y_{DDR}	$Y_{DWR} = 0,918711 \cdot Y_{DDR}$	99,96
	X_{DWR}	X_{DDR}	$X_{DWR} = 1,007812 \cdot X_{DDR}$	99,96

Utilizando estos modelos matemáticos se agiliza la toma de decisiones en los tratamientos del tejido para la obtención de un artículo acabado más estable dimensionalmente durante toda su vida útil, mejorando, así pues, la calidad del producto final a la vez que se disminuye el tiempo del proceso productivo.

Conclusiones complementarias

- Se ha calculado la longitud de malla de los tejidos de interlock en los estados de relajación DDR y DWR a partir de variables mucho más sencillas de calcular, como las *pasadas*, *columnas* y *densidad de malla*. De esta forma se agiliza en gran medida el cálculo de las constantes K que Munden propone en sus estudios. Los modelos propuestos para el cálculo de la *longitud de malla* en las estructuras de interlock propuestas se indican en las tablas 7.2 y 7.3. Estos modelos perfectamente pueden ser utilizados para predecir la variable LM , ya que explican la variabilidad de forma óptima obteniendo un R^2 del orden del 98 %.

Tabla 7.2: Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1;T2;T3	LM	C	$LM = \frac{1}{0,207142 \cdot C}$	99,841
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,112946 \cdot P}$	99,698
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00775448 \cdot DM}$	99,737

Tabla 7.3: Modelos propuestos mediante regresión lineal genéricos para los tres tejidos analizados T1, T2, T3, en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1;T2;T3	LM	C	$LM = \frac{1}{0,21914 \cdot C}$	99,812
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,105759 \cdot P}$	99,818
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,0075501 \cdot DM}$	99,791

- El mismo procedimiento empleado para el cálculo de la longitud de malla en los tejidos de interlock se ha demostrado que es aplicable a los tejidos de 1x1 rib y punto liso. Los modelos propuestos para las estructuras de

1x1 rib en los estados de relajación DDR y DWR se indican en las tablas 7.4 y 7.5 respectivamente. Los modelos propuestos para las estructuras de punto liso en los estados de relajación DDR y DWR se indican en las tablas 7.6 y 7.7 respectivamente. Estos modelos perfectamente pueden utilizarse para predecir la variable LM , ya que explican la variabilidad de forma óptima obteniendo un R^2 superior al 98 % en los casos que se utiliza como variable independiente las variables *pasadas* y *columnas*.

Tabla 7.4: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,145206 \cdot C}$	98,00
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,209909 \cdot P}$	99,50
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,0079753 \cdot DM}$	96,40

Tabla 7.5: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de 1x1 rib estudiados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,145762 \cdot C}$	99,03
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,196380 \cdot P}$	99,53
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,00753594 \cdot DM}$	97,26

- Se ha demostrado que los cambios dimensionales de las estructuras de interlock, punto liso y 1x1 rib no son causados por cambios en la longitud del hilo que conforman las mallas. Se descubrió que la longitud de malla afecta a las dimensiones del tejido cuando los alimentadores de la máquina circular de género de punto por trama alimentan a la aguja con una mayor o menor cantidad de hilo, lo que conduce a obtener tejidos de punto con mallas más apretadas o flojas. Una vez tejida la estructura, la forma de

Tabla 7.6: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DDR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DDR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,2312112 \cdot C}$	99,87
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1994994 \cdot P}$	99,89
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,001183330 \cdot DM}$	96,82

Tabla 7.7: Modelos propuestos por regresión lineal válidos para los tejidos de punto liso estudiados en el estado de relajación DWR.

Tejido	V.D	V.I.	Estado de Relajación DWR Relación lineal	R^2
T1	LM	C	$LM = \frac{1}{0,2348527 \cdot C}$	99,94
	LM	P	$LM = \frac{1}{0,1844150 \cdot P}$	99,90
	LM	DM	$LM = \frac{1}{0,01103993 \cdot DM}$	99,87

la malla dentro del tejido será la principal responsable de las variaciones dimensionales en cada uno de los estados de relajación. En gran medida, la forma de la malla dependerá de las tensiones que sufran los tejidos provocadas por estiramientos durante el proceso productivo. Por lo tanto, la malla tiene que tomar una forma determinada ya que ella misma no es capaz de superar las fuerzas de rozamiento que existen entre ellas para volver a su estado de mínima energía. Esto significa también que serán necesarios varios ciclos de lavado para que los tejidos puedan volver a su estado de máxima relajación (mínima energía).

Objetivos cumplidos

A lo largo de esta tesis se han ido logrando los objetivos planteados en el inicio. Para el cumplimiento del objetivo principal de esta tesis, previamente se han tenido que cumplir una serie de objetivos específicos que se enuncian a continuación:

- **Analizar la documentación existente referente a las variaciones dimensionales de los tejidos de punto. ✓**

Se ha analizado la documentación existente referente a las variaciones dimensionales de los tejidos de punto y se indica en el estado del arte.

- **Definir la metodología que se va a aplicar para el análisis de las partidas de tejido producido. ✓**

Se han definido las estructuras de tejido de punto liso, 1x1 rib e interlock empleados para este estudio, las condiciones empleadas en las máquinas y los aparatos de laboratorio necesarios para este estudio.

- **Definir un sistema para la obtención de los datos y la formación de una base de datos. ✓**

Se ha definido un sistema para la generación de una base de datos para el desarrollo de la tesis en su fase experimental adecuada para obtener resultados de calidad aportando la máxima información.

- **Depuración de la base de datos. ✓**

Se han eliminado las observaciones que no han contribuido a explicar el comportamiento de la variación dimensional de los tejidos de punto mediante técnicas de análisis eliminando los casos atípicos procedentes de errores en la toma de datos.

- **Analizar las características descriptivas de las variables. ✓**

Se han descrito las características de las variables de forma univariante.

- **Seleccionar la técnica de análisis. ✓**

Se ha seleccionado la técnica de análisis por regresión simple con el objetivo de predecir la variación dimensional de los tejidos de punto de interlock, 1x1 rib y punto liso, obteniendo de una forma muy sencilla resultados muy satisfactorios.

-
- **Determinar la relación existente entre las diferentes variables que influyen en la variación dimensional y en la longitud de malla de los tejidos de punto tubulares por recogida.** ✓

Se han determinado la relación existente entre las diferentes variables dimensionales y se han seleccionado las variables *pasadas*, *columnas* y *densidad de malla* las que mejor explican la variabilidad de la estabilidad dimensional y de la longitud de malla.

- **Determinar modelados para la predicción de la longitud de malla y la variación dimensional.** ✓

Se ha calculado con el software estadístico **R** los distintos modelos que predicen la variación dimensional con una explicación de la variabilidad superior al 98 % en todos los casos.

- **Validar los modelos matemáticos con nuevos datos.** ✓

Se han validado los modelos no detectando incumplimientos o casos atípicos.

- **Implantar estos modelos en una empresa de fabricación de tejidos de punto tubular.** ✓

A continuación se enuncia cómo se ha conseguido el objetivo principal..

- **Generar una herramienta que permita calcular las variaciones dimensionales de los tejidos sin necesidad de la aplicación del procedimiento convencional que es algo largo y engorroso** ✓

El objetivo principal se ha logrado con los modelos estimados de regresión lineal que explican la la variabilidad de la variación dimensional de los tejidos de punto por recogida propuestos en el 99 % de los casos.

- **Generar una herramienta que permita calcular la longitud de malla de los tejidos de interlock, en los estados de relajación DDR y DWR, a partir de variables mucho más sencillas de calcular, como las pasadas, columnas y densidad de malla.** ✓

Se han propuesto modelos que perfectamente pueden ser utilizables para el cálculo de la variable *longitud de malla* en los estados de relajación DDR y DWR en las estructuras de interlock ya que la explicación de la variabilidad es superior al 99 % en todos sus casos.

- **Generar una herramienta que permita aplicar el mismo procedimiento para los tejidos de interlock a los tejidos de 1x1 rib y punto liso. ✓**

Se han propuesto modelos que perfectamente pueden ser utilizables para el cálculo de la variable *longitud de malla* en los estados de relajación DDR y DWR para las estructuras de 1x1 rib y punto liso ya que la explicación de la variabilidad es superior al 99% en los casos que se utilizan como variable independiente alguna de las variables *pasadas* o *columnas*.

Los modelos propuestos se han implantado en una empresa de género de punto por recogida, optimizando el proceso productivo al mismo tiempo que se garantiza la calidad de los tejidos de punto propuestos.

Apéndice A

En este apéndice se ha introducido el primer artículo publicado en la revista “The Journal of The Textile Institute” publicando algunas conclusiones obtenidas en esta tesis.



Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, Wales and courses per centimetre analysis

Jorge Llinares Berenguer, Pau Miró i Martínez & Pablo Díaz-García

To cite this article: Jorge Llinares Berenguer, Pau Miró i Martínez & Pablo Díaz-García (2020) Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, Wales and courses per centimetre analysis, The Journal of The Textile Institute, 111:7, 934-940, DOI: [10.1080/00405000.2020.1714272](https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1714272)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1714272>



Published online: 20 Jan 2020.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 43

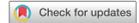


View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

ARTICLE



Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, Wales and courses per centimetre analysis

Jorge Llinares Berenguer^a, Pau Miró i Martínez^b and Pablo Díaz-García^a

^aDpto. Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València, Alcoi, Spain; ^bDpto. Estadística, Universitat Politècnica de València, Alcoi, Spain

ABSTRACT

One of the variables that we need to know in knitted fabrics in order to explain variations in dimensions in their different relaxation states, which might occur during the production process, is the yarn length that a loop forms, known as *loop length*. To experimentally calculate it, quite a lengthy process is required and the following need to be identified: direction of wales, direction that samples unreave in, counting the number of loops in the fabric length, separating and measuring yarn with specific measuring equipment, and repeating these 10 times, according to regulation UNE-EN 14970. Thus, depending on the structure type to be analysed, the whole process can take a relatively long time to do this calculation. This study proposes a calculation system that simplifies the process, for which the yarn length absorbed by an estimated interlock structure was modelled, as was loop length, without having to follow such a time-consuming process.

ARTICLE HISTORY

Received 19 December 2017
Accepted 4 October 2018

KEYWORDS

Knitted fabrics; loop length; stitch density; wales per centimetre; courses per centimetre

Introduction

The 100% cotton interlock structure has been widely used to produce winter garments thanks to its thermal and comfort properties. However, it also presents considerable dimensional instability, as all weft-knitted fabrics do. Since this drawback implies many problems for textile industries, attempts have long since been made to define the parameters needed to obtain dimensionally stable fabrics. In order to understand how the dimensional stability problem can be overcome, companies have to seek an efficient reproducible method to leave all knitted fabrics in an equivalent relaxation state to be able to compare them. This method would thus be a reference for all measurements and comparisons for fabrics with the above-defined characteristics.

Searches made to dimensionally control cotton-knitted fabrics date back to the beginning of the twentieth century when the first mathematical model was presented by Chamberlain (1926), which attempted to determine the loop configuration of knitted fabrics.

K factors are the basis of the system employed to predict the performance of knitted fabrics, and constants are obtained using empirical data. The bigger the database, the more reliable the predictions.

Since then, other research works have undertaken relevant studies which conceptualise, define and mathematically formulate the dimensional behaviour of knitted fabrics. (Leaf & Glaskin 1955, Munden 1968, Black 1974, Growers & Hunter 1978, Allan et al., 1982, Heap et al., 1983, Sharma

et al., 1985, Heap 1989, Heap & Stevens 1993, Demiroz 1998, Leong, Falzon, Bannister, & Herszberg, 1998, Gravas, Kiekens, & Langenhove, 2005, Amreeva & Kurbak 2007, Allan et al., 2011, Eltahan 2016, Kurbak & Amreeva 2006, Nayak et al., 2016, Poincloux, Adda-Bedia, & Lechenault, 2018, Sitotaw & Adamu 2017)

According to Münden (1959), with Equations (1–3) it is possible to verify if K factors are related with courses, gauge and loop length. The relevance of Münden's equations lies in the fact that the dimensions of plain-knitted fabrics, which are produced with discontinuous fibre yarns and continuous filament yarns, are defined by the length of yarns in the loop, provided that the fabric is always measured in the same relaxation state.

$$K_C = SL \times CPCM \quad (1)$$

$$K_W = SL \times WPCM \quad (2)$$

$$K_r = \frac{K_C}{K_W} \quad (3)$$

where: K_C and K_W are constants and represent the fabric dimension.

K_r : is the factor that gives the loop its format.

SL: is loop length.

These equations have been applied to plain-knitted fabrics for many years.

For plain-knitted fabrics, Doyle (1953) later found that knit density depended only on loop length, and was independent of yarn and knitted fabric variables. Münden

(1959) suggested that a loop would take a natural form when freed from mechanical strains, and would be independent of yarn properties.

Münden (1960) demonstrated that, if in a minimum energy status, the fabric dimensions of plain-knitted wool fabrics would depend only on loop length. Münden's experimental studies indicate that Equations (1)–(3) can be applied in different relaxations states to give a distinct number of constants.

To conclude, what Münden intended with these equations was that the dimensions of plain-knitted fabrics depended on loop length and no other variable had any influence, provided fabrics were measured in the same relaxation state.

Nutting and Leaf (1968) introduced another variable, yarn count, and proposed a minor amendment to the basic equation.

Knapton, Ahrens, Ingenthron, and Fong (1968), Knapton, Truter, & Aziz, (1975) demonstrated not only that the dimensional stability in plain-knitted fabrics could be accomplished by mechanical means, relaxation techniques or chemical treatments, but also that the stable loop geometry was almost identical for both wool and cotton in plain-knitted fabrics.

Another study (Ulson et al. 2010) is based on the principle that each industry must determine its own K factors, which are calculated per processing line; e.g. the factor differs for a knitted fabric that has undergone either a continuous bleaching or an exhaustion bleaching process. So these factors differ as they provide distinct combinations of fabrics with several weights, shrinkages and widths. Conversely when cotton-knitted fabrics have the same structure and working, and also the same yarn count, and they are processed by the same dyeing and finishing process, they will have the same K factor. This study was conducted with five distinct processes. All the used fabrics came from a circular plain-knitting machine, but had been dyed and finished differently. A process was followed that included five domestic washing steps to see the change in dimensional stability that took place during each washing. The following conclusions were drawn:

Loop length: a minor, but significant, variation was observed throughout the process for the five different processes

The changes or variations in yarn were non-significant for the five different processes

The geometry factor (Kr): for all four analysed structures, a dimensional change was confirmed in the knitted fabric owing to changes in the loop's geometric forms.

In their study, Ulson et al. (2010) developed a computational algorithm to help develop fabrics by obtaining fit parameters for the process. To this end, it was necessary to establish a K factor for each production process.

Saravana and Sampath (2012) predicted the knitted fabric's dimensional properties with a double cardigan structure by an "artificial neural network system". In their study, these authors demonstrated the existing relationship that linked courses per centimetre, wales per centimetre and

stitch density, and the inverse of loop length in a double cardigan fabric.

Mobarok (2012) established some mathematical relations to predict the weight (GSM), width and ultimately shrinkage of a finished cotton knitted fabric.

Eltahan, Sultan, and Mito (2016) determined the loop length, tightness factor and porosity of a single jersey knitted fabric using mathematical equations.

Sitotaw (2018) studied the dimensional characteristics of five knitted structures made from 100% cotton and 95% cotton/5% elastane blended yarns. He concluded that the loop length, wales per centimetre, courses per centimetre, stitch density, the tightness factor, the loop shape factor and the take-up rate of single jersey, 1x1 rib, interlock, single pique, and two-thread fleece-knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/elastane yarns were significantly influenced by the presence of an elastane yarn. The loop length of single jersey, 1x1rib and interlock knitted fabrics made from elastane yarns reduced, while the single pique and fleece increased. Similarly, other dimensional properties were significantly influenced by the yarn types used during knitting.

Objectives

Nearly all the studies we found referred to the loop length variable as one of the most important factors to intervene in the dimensional variation of knitted fabrics. The process followed to analyse this in accordance with regulation UNE-EN 14970 is somewhat bothersome as it is necessary to identify wales and the direction that samples unweave in, cut all along a course, count the number of loops along a given length, remove yarn from the fabric, place the measuring machine pincers by foreseeing loss of twist to measure its length, and repeat all these 10 times to then calculate its mean.

Therefore, the main objective of this study was to predict the loop length of a knitted fabric with the interlock structure using other variables that are simpler to calculate, such as courses, wales or stitch density. This considerably speeds up the process to calculate the K factors that Münden proposed in his studies.

Experimental

Materials and methods

The present study was conducted on fabrics knitted with an interlock structure. Fabrics were produced under three knitting conditions: slackly knitted fabrics (SL₁), tightly knitted fabrics (SL₃) and intermediately knitted fabrics/neither slackly or tightly knitted fabrics (SL₂). The linear yarn count employed to produce these fabrics was 30 Ne of combed cotton. The machines employed to make these knitted fabrics are shown in Table 1.

On all the nine machines cited in Table 1, 45 pieces were produced, which corresponded to 15 pieces under the SL₁ condition, 15 under the SL₂ condition and 15 under the SL₃ condition, which totalled 405 pieces. We obtained knitted

fabrics whose average loop length after the knitting process was 0.365 cm for SL₁, 0.341 cm for SL₂ and 0.339 cm for SL₃. Then all the samples were placed in a conditioning atmosphere to reach a constant weight. Next one sample each piece was cut to be analysed. This analysis consisted in determining the number of number of loops in the fabric length and the area unit (wales per centimetre, courses per centimetre and stitch density) according to Standard UNE-EN 14971, and also in determining loop length and laminar weight according to Standard UNE-EN 14970 and factors (K_c, K_w and K_r), by applying Münden's equations.

The mean, standard deviation and 95% confidence interval of the results obtained in the analysis done with the samples, following the knitting process for each knitting condition (SL₁, SL₂, SL₃), are provided in Table 2.

Next batches underwent a machine exhaustion dyeing process. The dyeing conditions and the added products are respectively indicated in Figure 1 and Table 3.

After completing hydroextraction and then drying the pieces, those to be analysed were identified, a sample of them was taken and they were left in a conditioning atmosphere.

Two relaxation states for the fabrics under knitting conditions SL₁, SL₂ and SL₃ were distinguished after the dyeing process:

- Dyed and dry relaxation (DDR). The dyed knitted fabric was left in a conditioning atmosphere until a constant weight was obtained.

- Dyed and wash relaxation (DWR). The dyed and conditioned knitted fabric was left until a constant weight was obtained. Then a dimensional stability test was run with it according to regulation UNE EN ISO 6330, of September 2012, procedure 4N.

The mean, standard deviation and 95% confidence interval of the results obtained in the analysis done of the samples after the dyeing process for each knitting condition (SL₁, SL₂, SL₃), and in the DDR and DWR relaxation states, are shown in Table 4.

Table 2. The experimental results of the fabrics under conditions SL₁, SL₂ and SL₃ after knitting.

Sample	Variable	DDR Relaxation state		
		\bar{X}	s_i	CI
SL ₁	WPCM	23.61	0.64	[23.358;23.856]
	CPCM	11.95	0.60	[11.714;12.180]
	SD	281.90	13.71	[276.586;287.221]
	W	198.66	7.35	[185.803;201.507]
	SL	0.365	0.012	[0.3605;0.3700]
	TF	12.17	0.40	[12.010;12.323]
	K _c	4.36	0.19	[4.287;4.431]
	K _w	8.62	0.35	[8.484;8.758]
	K _r	0.51	0.03	[0.494;0.519]
SL ₂	WPCM	27.41	0.41	[27.197;27.637]
	CPCM	11.74	0.38	[11.540;11.939]
	SD	321.79	8.72	[317.139;326.430]
	W	216.39	4.38	[214.054;218.717]
	SL	0.341	0.009	[0.3361;0.3455]
	TF	13.03	0.34	[12.851;13.213]
	K _c	4.00	0.12	[3.936;4.063]
	K _w	9.34	0.31	[9.181;9.508]
	K _r	0.43	0.02	[0.419;0.438]
SL ₃	WPCM	27.39	0.86	[27.030;27.750]
	CPCM	11.71	0.42	[11.530;11.887]
	SD	320.55	12.19	[315.403;326.699]
	W	214.16	8.36	[210.631;217.393]
	SL	0.339	0.010	[0.3353;0.3437]
	TF	13.08	0.38	[12.924;13.245]
	K _c	3.97	0.14	[3.912;4.034]
	K _w	9.30	0.44	[9.115;9.386]
	K _r	0.43	0.024	[0.4180;0.4381]

WPCM: Wales/cm; CPCM: Courses/cm; SD: Stitch density/cm²; W: Weight (g/m²); SL: Loop length (cm); TF: Tightness factor; K_c, K_w, K_r: Münden's factors; \bar{X} : Mean; s_i : Standard deviation; CI: 95% Confidence interval.

Table 1. The circular machines used to produce fabrics knitted under conditions SL₁, SL₂, SL₃.

Model	Diameter (inches)	Gauge	Needles	No. feeders
Mayer IHG II	12	E20	2x756	20
Mayer IHG II	14	E20	2x876	36
Jumberca DVK	16	E20	2x1008	32
Mayer IHG II	17	E20	2x1056	32
Jumberca DVK	18	E20	2x1128	36
Mayer IHG II	20	E20	2x1260	40
Jumberca DVK	22	E20	2x1380	44
Jumberca DVK	24	E20	2x1512	48
Mayer OV 3,2 QC	30	E20	2x1872	96

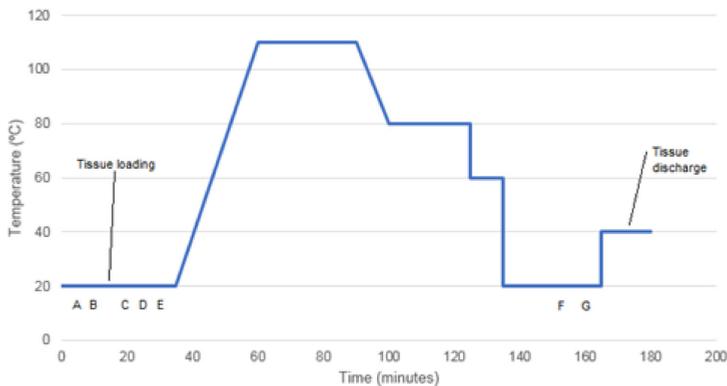


Figure 1. Dyeing curve to optimally bleach the processed fabrics.

Results and discussion

After completing the analysis of the knitted fabrics under conditions SL₁, SL₂ and SL₃ to obtain the variables DDR

and DWR relaxation states, we intended to observe the existing relationship between these variables and to obtain models with which to predict loop length (SL). The models obtained by linear regression are shown in Tables 5 and 6.

Of the models proposed in Table 5, by knowing the independent variables courses/cm (CPCM), wales/cm (WPCM) and stitch density/cm² (SD), it is possible to predict the loop length (SL) variable for each studied knitted fabric under knitting conditions (SL₁, SL₂, SL₃). Almost all these models have an R² that exceeds 99%, and variability is well accounted for by the linearity that exists with the independent variables CPCM, WPCM and SD. Figures 2–4 illustrate the linear regression models adjusted for the fabric knitted

Table 3. Products employed for optimum bleaching.

Process	Product
A	Tannex Novenco
B	Procuest ND
C	Liquid Soda Lye
D	Hydrogen Peroxide
E	Ledebianc
F	Dianix violet BTE
G	Formic acid

Table 4. Experimental results of the fabrics under knitting conditions SL₁, SL₂ and SL₃ after the dyeing process.

Sample No.	Variable	Relaxation states					
		DDR			DWR		
		\bar{X}	s_i	IC	\bar{X}	s_i	IC
SL ₁	WPCM	24.57	0.73	[24.412;24.732]	26.19	0.97	[25.98;26.40]
	CPCM	14.17	0.47	[14.070;14.280]	13.43	0.45	[13.327;13.525]
	SD	348.23	13.85	[345.171;351.297]	351.77	19.48	[347.462;356.076]
	W	238.95	6.44	[237.527;240.375]	251.76	7.03	[250.203;253.313]
	SL	0.356	0.008	[0.3546;0.3583]	0.360	0.010	[0.354;0.358]
	TF	12.46	0.29	[12.394;12.524]	12.47	0.35	[12.391;12.544]
	K _c	5.05	0.15	[5.018;5.084]	4.78	0.16	[4.746;4.817]
	K _w	8.76	0.34	[8.683;8.835]	9.33	0.39	[9.244;9.416]
	K _r	0.58	0.03	[0.571;0.584]	0.51	0.02	[0.509;0.518]
	SL ₂	WPCM	27.41	1.68	[27.15;27.68]	29.17	1.44
CPCM		14.49	0.57	[14.40;14.57]	13.66	0.51	[13.580;13.741]
SD		396.80	24.51	[392.920;400.680]	398.53	25.00	[394.57;402.48]
W		251.25	8.73	[249.869;252.631]	262.38	11.39	[260.580;264.183]
SL		0.331	0.008	[0.3300;0.3332]	0.331	0.012	[0.3293;0.3330]
TF		13.40	0.33	[13.352;13.456]	13.42	0.46	[13.347;13.493]
K _c		4.80	0.18	[4.769;4.826]	4.52	0.20	[4.490;4.554]
K _w		9.08	0.57	[8.991;9.172]	9.65	0.40	[9.587;9.713]
K _r		0.53	0.04	[0.524;0.538]	0.47	0.03	[0.465;0.474]
SL ₃		WPCM	26.89	1.11	[26.727;27.049]	29.30	0.99
	CPCM	14.77	0.68	[14.667;14.865]	14.17	0.50	[14.101;14.245]
	SD	397.13	25.81	[393.395;400.863]	415.34	22.29	[412.117;418.565]
	W	247.92	6.80	[246.931;248.898]	261.69	7.07	[260.668;262.713]
	SL	0.323	0.013	[0.3209;0.3247]	0.319	0.010	[0.3170;0.3201]
	TF	13.77	0.54	[13.694;13.850]	13.95	0.43	[13.885;14.008]
	K _c	4.76	0.15	[4.738;4.782]	4.51	0.15	[4.490;4.534]
	K _w	8.67	0.37	[8.619;8.726]	9.33	0.35	[9.279;9.380]
	K _r	0.55	0.03	[0.545;0.555]	0.48	0.02	[0.481;0.487]

WPCM: Wales/cm; CPCM: Courses/cm; SD: Stitch density/cm²; W: Weight (g/m²); SL: Loop length (cm); TF: Tightness factor; K_c, K_w, K_r: Munden's factors; \bar{X} : Mean; s_i : Standard deviation; CI: 95% Confidence interval.

Table 5. The models proposed by linear regression for each knitted fabric under knitting conditions SL₁, SL₂ and SL₃.

Sample No.	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Linear relation	R ²	Linear relation	R ²
SL ₁	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.197885} \cdot CPCM$	99.913	$SL = \frac{1}{0.209063} \cdot CPCM$	99.887
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.114132} \cdot WPCM$	99.842	$SL = \frac{1}{0.107122} \cdot WPCM$	99.828
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.00805089} \cdot SD$	99.8591	$SL = \frac{1}{0.007965333} \cdot SD$	99.730
SL ₂	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.208244} \cdot CPCM$	99.862	$SL = \frac{1}{0.221106} \cdot CPCM$	99.806
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.109768} \cdot WPCM$	99.907	$SL = \frac{1}{0.103499} \cdot WPCM$	99.835
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.00758624} \cdot SD$	99.678	$SL = \frac{1}{0.00756708} \cdot SD$	99.748
SL ₃	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.209966} \cdot CPCM$	99.897	$SL = \frac{1}{0.221546} \cdot CPCM$	99.886
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.115291} \cdot WPCM$	99.827	$SL = \frac{1}{0.107166} \cdot WPCM$	99.862
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.0077963} \cdot SD$	99.829	$SL = \frac{1}{0.0075501} \cdot SD$	99.791

DV: Dependent variable; IV: Independent variable; WPCM: Wales/cm; CPCM: Courses/cm; SD: Stitch density/cm²; SL: Loop length (cm).

Table 6. The proposed generic linear regression models for the three studied fabrics knitted under conditions SL₁, SL₂ and SL₃.

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Linear relation	R ²	Linear relation	R ²
SL _{1,2,3}	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.207143 \cdot CPCM}$	99.841	$SL = \frac{1}{0.21914 \cdot CPCM}$	99.812
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.112946 \cdot WPCM}$	99.698	$SL = \frac{1}{0.105759 \cdot WPCM}$	99.818
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.0075448 \cdot SD}$	99.737	$SL = \frac{1}{0.0075501 \cdot SD}$	99.791

DV: Dependent variable; IV: Independent variable; WPCM: Wales/cm; CPCM: Courses/cm; SD: Stitch density/cm²; SL: Loop length (cm).

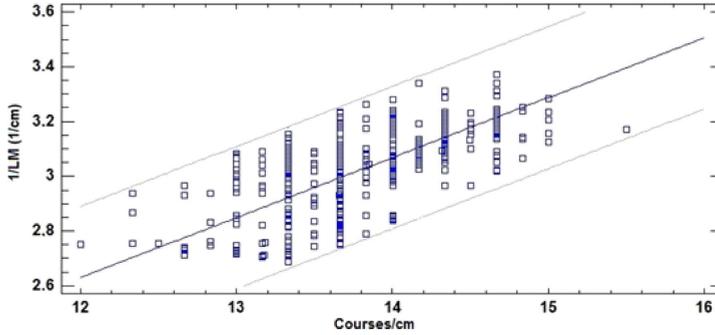


Figure 2. Graph showing the linear regression model adjusted for knitted fabric SL₃ that describes the relation between the inverse of loop length and courses/cm for the DWR relaxation state.

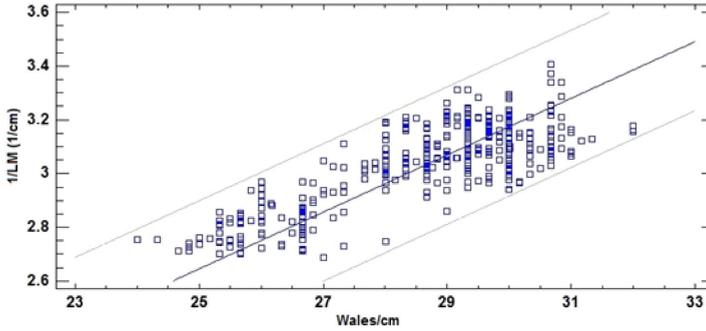


Figure 3. Graph showing the linear regression model adjusted for knitted fabric SL₃ that describes the relation between the inverse of loop length and wales/cm for the DWR relaxation state.

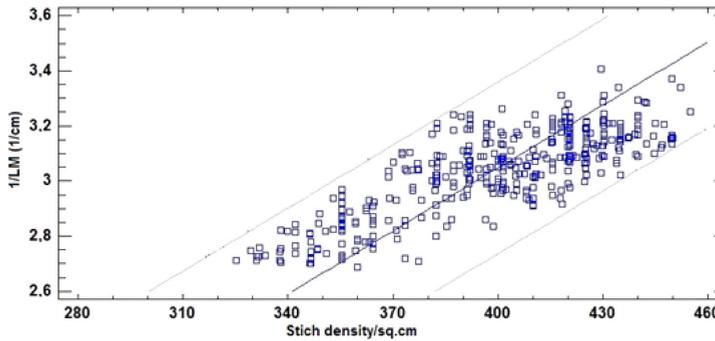


Figure 4. Graph showing the linear regression model adjusted for knitted fabric SL₃ that describes the relation between the inverse of loop length and stitch density for the DWR relaxation state.

Table 7. Summary of the estimated errors made by the proposed models for each fabric knitted under conditions SL₁, SL₂ and SL₃ to estimate loop length (SL).

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Estimated error	s _i	Estimated error	s _i
SL ₁	SL	CPCM	0.020	0.009	0.022	0.005
	SL	WPCM	0.010	0.010	0.009	0.012
	SL	SD	0.015	0.011	0.020	0.010
SL ₂	SL	CPCM	0.004	0.003	0.012	0.006
	SL	WPCM	0.016	0.005	0.015	0.004
	SL	SD	0.016	0.003	0.015	0.009
SL ₃	SL	CPCM	0.013	0.010	0.012	0.011
	SL	WPCM	0.012	0.004	0.005	0.004
	SL	SD	0.010	0.009	0.009	0.005

DV: Dependent variable; IV: Independent variable; WPCM: Wales/cm; CPCM: Courses/cm; SD: Stitch density/cm²; SL: Loop length (cm).

Table 8. Summary of the estimated errors made by the generic models proposed to estimate loop length (SL).

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Estimated error	s _i	Estimated error	s _i
SL _{1,2,3}	LM	C	0.012	0.010	0.013	0.008
	LM	P	0.011	0.007	0.010	0.008
	LM	DM	0.014	0.010	0.014	0.009

DV: Dependent variable; IV: Independent variable; P: Wales/cm; C: Courses/cm; DM: Stitch density/cm²; LM: Loop length (cm).

under knitting condition SL₃, and a relation was found among the variables courses/cm, wales/cm, stitch density, and the inverse of the loop length in the DWR relaxation state.

Table 6 offers some generic models for the three fabrics knitted under conditions SL₁, SL₂ and SL₃ that can be perfectly used to predict variable SL because they optimally explain variability by obtaining an R² of around 98%.

To verify the validity of the obtained models, they were all validated by analysing a set of batches that represented all the diameters and each knitted fabric. To analyse them, the loop length of each batch was calculated in the DDR and DWR relaxation states. Next the obtained models were used to calculate the estimated values. The estimated error was the difference between the estimated value and the real value. The estimated errors of the models proposed for each variable are summarised in Table 7.

Table 7 shows how the estimated errors, made when the models proposed for each analysed knitted fabric were used, are minor errors. We conclude that these models efficiently represent the variability obtained with all the proposed knitted fabrics.

Table 8 summarises the estimated errors made when the generic models proposed to estimate loop length were used. The errors made when these models were used are, in some cases, somewhat greater than those proposed in Table 7, but are still minor errors. Thus we conclude that these models

can also efficiently represent the variability of all the fabrics proposed jointly without separating them.

Conclusions

This study proposes linear regression models (Tables 5 and 6) to help predict loop length by knowing only one of the following variables; wales/cm, courses/cm and stitch density/cm²; in relaxation states Dyed and Dry Relaxation and Dyed and wash relaxation, without having to apply regulation UNE-EN 14970, which is a somewhat bothersome procedure. This work explains how to avoid operations to identify wales, the direction that samples unweave in, cutting a long a column, counting the number of loops along a given length, removing yarn from knitted fabric, placing the measuring machine pincers by foreseeing loss of twist to measure its length, and repeating this whole process 10 times to then calculate its mean.

The loop lengths of the three knitted fabrics were modelled with the interlock structure, and all with different loop lengths, after a dyeing process by linear regression models. They are indicated in Tables 5 and 6. After their validation, we can see that the estimated errors were made when the proposed models (both the specific models for each proposed fabric and the generic ones) were used, which are minor errors. Thus we conclude that these models efficiently represent the variability obtained from each proposed knitted fabric.

After validating the proposed models, we found that they can be suitably used to calculate loop length in the proposed knitted fabrics by knowing only one of these variables: courses/cm, wales/cm and stitch density.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

- Amreeva, G., & Kurbak, A. (2007). Experimental studies on the dimensional properties of half milano and milano rib fabrics. *Textile Research Journal*, 77(3), 151–160. doi:10.1177/0040517507079410
- Allan, S., Greenwood, F., Leah, R. D., Eaton, J. T., Stevens, J. C., & Keher, P. (1982). *Prediction of finished weight and shrinkage of cotton knits- the starfish project*. Fifth Annual Natural Fibers Textile Conference, Charlotte, North Carolina, September 14–16.
- Allan, S., Greenwood, F., Leah, R. D., Eaton, J. T., Stevens, J. C., & Keher, P. (2011). Prediction of finished relaxed dimensions of cotton knits- the starfish project. *Textile Research Journal*, 44, 040-5175/85/55004-211. doi:10.1177/004051758505500403
- Black, D. H. (1974). Shrinkage control for cotton and cotton blend knitted fabrics. *Textile Research Journal*, 44(8), 606–611. doi:10.1177/004051757404400810
- Chamberlain, J. (1926). Hosiery yarns and fabrics. Leicester College of Technology and Commerce. *Leiceste*, 106–108.
- Demiroz, A. (1998). A study of graphical representation of knitted structures. PhD Thesis, Umist, Manchester, UK.
- Doyle, D. J. (1953). Fundamental aspects of the design of knitted fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 44, 561–578.
- Eltahan, E. A. e., Sultan, M., & Mito, A.-B. (2016). Determination of loop length, tightness factor and porosity of single jersey knitted

- fabric. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 851–856. doi:10.1016/j.aej.2016.02.006
- Eltahan, E. (2016). Effect of Lycra percentages and loop length on the physical and mechanical properties of single jersey knitted fabrics. *Journal of Composites*, 1–7. doi:10.1155/2016/3846936
- Gravas, E., Kiekens, P., & Langenhove, L. (2005). An approach to the 'Proknit' system and its value in the production of weft-knitted fabrics. *Autex Research Journal*, 5(4), 220–227.
- Growers, C., & Hunter, F. N. (1978). The wet relaxed dimensions of plain knitted fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 69, 108–115.
- Heap, S. A., Greenwood, P. F., Leah, R. D., Eaton, J. T., Stevens, J. C., & Keher, P. (1983). Prediction of finished weight and shrinkage of cotton knits-the starfish project: Part I: Introduction and general overview. *Textile Research Journal*, 53, 109–119.
- Heap, S. A. (1989). *Low shrink cotton knits textiles fashioning the future*. Textile Institute Annual World Conference Proceedings. Nottingham, United Kingdom.
- Heap, S. A., & Stevens, J. C. (1993). Shrinkage, if you can predict it you can control it. *Australasian Textiles*, 13, 32.
- Knapton, J. J. F., Ahrens, F. I., Ingenthron, W. W., & Fong, W. (1968). The dimensional properties of knitted wool fabrics, Part I: The plain knitted structure. *Textile Research Journal*, 38, 999–1012. doi:10.1177/004051756803801004
- Knapton, J. J. F., Truter, E. V., & Aziz, A. (1975). Geometry, dimensional properties and stabilization of the cotton plain jersey structure. *The Journal of the Textile Institute*, 66(12), 413–419. doi:10.1080/00405007508630536
- Kurbak, A., & Amreeva, G. (2006). Creation of a geometrical model for Milano rib fabric. *Textile Research Journal*, 76(11), 847–852. doi:10.1177/0040517507071968
- Leaf, G. A. V., & Glaskin, A. (1955). Geometry of plain knitted loop. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 46(9), T587–T605. doi:10.1080/19447027.1955.10750345
- Leong, K. H., Falzon, P. J., Bannister, M. K., & Herszberg, I. (1998). An investigation of the mechanical performance of weft knitted. *Composites Science and Technology*, 52, 239–251. doi:10.1016/S0266-3538(97)00128-0
- Mobarok, A. K. M. (2012). Prediction of dimension and performance of finished cotton knitted fabric from knitting variables. *Annals of the University of Oradea: fascicle of Textiles*, 2, 99–103.
- Münden, D. L. (1959). The geometry and dimensional properties of plain knit fabrics. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 50(7), T448–T471. doi:10.1080/19447025908659923
- Münden, D. L. (1960). The dimensional behaviour of knitted fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 51, 200–209.
- Münden, D. L. (1968). Knitting versus weaving. *Textile Mercury International*, 12, 10–13.
- Nayak, R., Kanesalingam, S., Houshyar, S., Vijayan, A., Wang, L., & Padhye, R. (2016). Effect of repeated laundering and dry-cleaning on the thermo-physiological comfort properties of aramid fabrics. *Fibers and Polymers*, 17(6), 954–962. doi:10.1007/s12221-016-5863-7
- Nutting, T. S., & Leaf, G. A. V. (1968). A generalised geometry of weft knitted fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 55, 45–53.
- Poincloux, S., Adda-Bedia, M., & Lechenault, F. (2018). Geometry and elasticity of a knitted fabric. *Physical Review X*, 8(2), 1–14. doi:10.1103/PhysRevX.8.021075
- Saravana, K. T., & Sampath, V. R. (2012). Prediction of dimensional properties of weft knitted cardigan fabric by artificial neural network system. *Journal of Industrial Textiles*, 42(4), 446–458. doi:10.1177/1528083712444296
- Sharma, I. C., Ghosh, S., & Gupta, N. K. (1985). Dimensional and physical characteristics of single jersey fabrics. *Textile Research Journal*, 55(3), 149–156. doi:10.1177/004051758505500303
- Sitotaw, D., & Adamu, B. (2017). Tensile properties of single jersey and 1x1 rib knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/lycra yarns. *Journal of Engineering*, 2017. doi:10.1155/2017/4310782
- Sitotaw, D. (2018). Dimensional characteristics of knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/elastane yarns. *Journal of Engineering*, 2018. doi:10.1155/2018/8784692
- Ulson, A. A., Cabral, L. F., & Souza, M. A. G. (2010). Prediction of dimensional changes in circular knitted cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 80(3), 236–252. doi:10.1177/0040517509105598

Apéndice B

En este apéndice se ha introducido el segundo artículo publicado en la revista “Textile Research Journal” publicando algunas conclusiones obtenidas en esta tesis.

Determining the loop length during knitting and dyeing processes

Jorge Linares Berenguer, Pablo Diaz-García and Pau Miró Martínez

Textile Research Journal

0(00) 1–12

© The Author(s) 2020

Article reuse guidelines:

sagepub.com/journals-permissions

DOI: 10.1177/0040517520931898

journals.sagepub.com/home/trj



Abstract

Loop length is one of the most relevant variables to control while producing knitted fabrics because the final characteristics of the finished fabric depend on it to a great extent. The procedure followed to calculate it is based on standard UNE-EN 14970, and it is cumbersome, time-consuming and requires yarn-measuring equipment. This study investigated several single jersey and 1×1 rib structures produced with different yarn counts and 100% cotton yarns, and a 1×1 rib structure that was half-plated in alternating courses by defining four relaxation states of the different fabrics: two knits (knitting and dry relaxation and knitting and wet relaxation) and two dyed (dyed and dry relaxation and dyed and wet relaxation). The most significant dimensional variables were characterized in all the relaxation states and models were presented that explain the variability of the yarn length absorbed by the loop using other variables that are much simpler to analyze.

Keywords

knitting process, dyeing process, dry relaxation, wet relaxation, loop length, single jersey, 1×1 rib

Manufactured knitted fabrics are popular given their excellent adaption capacity, hence this technology is used to manufacture underwear and sportswear. Weft-knitted fabrics also present a high degree of dimensional instability, which makes working with this fabric type throughout the manufacturing process complicated. To ensure dimensional stability throughout the lifetime of such garments, it is necessary to control the dimensional parameters during the entire production process and to confer the final garment with a minimum energy state to thus make it dimensionally stable.

Obtaining stable knitted fabrics is a purpose that has long since been a matter of concern. In 1926, Chamberlain¹ presented the first mathematical model to determine the knitted fabric loop configuration. Since then, other research works have undertaken relevant studies which conceptualise, define and mathematically formulate the dimensional behaviour of knitted fabrics.^{2–18}

For years, Münden's equations^{19–21} have been applied to calculate the K factors that determine fabric dimension and loop rules. Doyle²² discovered that knit density depended on loop length (SL).

Nutting and Leaf²³ introduced another variable into Münden's equations, namely yarn count. Knapton et al.^{24,25} demonstrated that dimensional stability in plain-knitted fabrics can be achieved by mechanical means, relaxation techniques or chemical treatments. Fletcher and Roberts^{26–31} studied the geometry, relationship and dimensional stability of knits fabrics. The Starfish project^{32–37} is a long-term program of applied research whose basic aim is to create a comprehensive and systematic database describing the dimensional properties of finished cotton knits, and hence to derive a simple, rational and reliable system for predicting finished dimensions starting from the knitting and finishing specifications. The study by Ulson et al.³⁸ was based on determining the own K factors of each production process, based on differences between the K

Universitat Politècnica de València, Spain

Corresponding author:

Pablo Diaz-García, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell Alcoy, Alicante, 03801 Spain.

Email: pdiazga@cxp.upv.es

factors obtained in fabrics treated during a continuous bleaching process or an exhaustion bleaching process. Saravana and Sampath³⁹ predicted the dimensional properties of a double cardigan-type fabric using an "artificial neural network system." Mobarock⁴⁰ proposed some mathematical ratios to predict the weight (GSM), width and final shrinkage of a finished cotton knitted fabric. Eltahan et al.⁴¹ and Eltahan⁴² determined the SL, tightness factor and porosity of a single jersey knitted fabric using mathematical equations. Sitotaw⁴³ and Sitotaw and Adamu⁴⁴ studied the dimensional characteristics of five knitted fabric structures made with 100% cotton and 95% cotton/5% elastane (EA). They concluded that the presence of EA significantly varied the outcome of the dimensional variables. Llinares et al.⁴⁵ proposed a procedure to calculate the SL of interlock fabrics by means of linear regression models to avoid applying standard UNE-EN 14970.

Objectives

This study is of great relevance for the technical textile industries, since it greatly simplifies the productive calculations for weft-knitted fabric companies. It offers an effective method for the estimation of the SL in the knitted fabrics in single jersey and 1×1 rib structures, after the knitting, dyeing and finishing processes. From the knowledge of the variables it is much easier to calculate, such as measurements as the wales per centimeter (WPCM) and courses per centimeter (CPCM) in the fabrics obtained in the knitting machines, without the need to perform a subsequent analysis based on the standard UNE-EN 14970.

In this way the quality control of the knitted fabrics is streamlined, being able to adjust the desired final characteristics of them more quickly contributes to the improvement of the increase in the quality of the final product.

The procedure employed by Llinares et al.⁴⁵ to calculate the SL of interlock fabrics can be applied to 1×1 rib and single jersey structures in cotton fabrics.

Experimental details

Materials and methods

The present study was carried out on knitted fabrics with a 1×1 rib and single jersey structure. The circular machines employed to produce these fabrics are described in Table 1. This study was conducted with 440 lots. Each lot included 20 pieces of fabric, each weighing 20 kg. In all the lots, one piece was identified so as to not lose its traceability and to analyze it throughout the production process. This meant that

200 pieces with a 1×1 rib structure and 240 pieces with a single jersey structure were studied.

In the 1×1 rib structure, two different fabric types were obtained: a cotton fabric with a yarn count of 26.96 Ne and another cotton fabric with a yarn count of 30.26 Ne. From each fabric, 20 pieces were produced with the diameter of each machine as shown in Table 1 (14", 16", 18" and 20"), which gave 80 pieces with a yarn count of 26.96 Ne and 80 more with a yarn count of 30.26 Ne.

With the 1×1 rib structure, whose composition is 95% cotton-5% EA, plated cotton with a yarn count of 50.24 Ne with elastomer with a yarn count of 22 dtex half-plated in alternating courses were obtained. This gave 20 pieces of each selected machine diameter (16" and 18") and 40 pieces were obtained.

For the single jersey structure, fabrics were produced with yarn counts of 26.96, 30.26 and 37.39 Ne using the machine diameters (17", 18", 22" and 24"), as indicated in Table 1. In all, 80 pieces were obtained from each employed yarn with yarn counts of 26.96, 30.26 and 37.39 Ne (corresponding to 20 pieces of diameter 17", 20 of diameter 18", 20 of diameter 22" and 20 of diameter 24").

Two fabric relaxation states were distinguished after the knitting process ended.

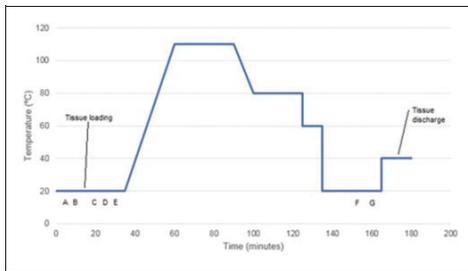
- Knitting and dry relaxation (KDR). Once the fabric had been produced, it was left in a conditioning atmosphere until a constant weight was obtained.
- Knitting and wet relaxation (KWR). The conditioned fabric was left until a constant weight was obtained and was submitted to a dimensional stability analysis according to standard UNE EN ISO 6330, of September 2012,⁴⁶ procedure 9N.

It is necessary to bear in mind that during the KWR relaxation process, no scouring fabric is obtained because this process does not remove peptine from cotton and, therefore, fibers continue to perform hydrophobically. However, this process manages to eliminate the stresses that accumulate during the knitting process and provides a dimensionally stable fabric, but the results of the dimensional variables having nothing to do with those corresponding to a scouring and bleaching process. This relaxation state can be used as an intermediate state between the KDR state and that obtained after the scouring process, and it helps to predict the dimensional properties of the finished fabric.

The pieces identified in each lot were placed in a conditioning atmosphere until a constant weight was obtained. Then two samples of each piece were cut to analyze them in relaxation states KDR and KWR. This analysis consisted of establishing the number of loops

Table 1. The circular machines used to produce the knitted fabrics with 1 × 1 rib 100% cotton, 1 × 1 rib plated with elastane and 100% plain-knitted cotton structures

Structure	Model	Diameter (inches)	Gauge	Needles	No. feeders
1 × 1 Rib 100% CO	Mayer FV 2.0	14	E16	2 × 708	29
	Jumberca DVI	16	E16	2 × 804	32
	Jumberca DVI	18	E16	2 × 900	36
	Mayer FV 2.0	20	E16	2 × 1008	40
1 × 1 Rib 95% CO 5% elastane/plated	Mayer FV 2.0	16	E18	2 × 804	32
	Mayer FV 2.0	18	E18	2 × 1008	36
Single jersey	Mayer MV4 II	17	E22	1176	54
	Mayer MV4 3,2	18	E22	1248	57
	Mayer MV4 II	22	E22	1512	69
	Mayer MV4 II	24	E22	1656	78

**Figure 1.** Process diagram of scouring and bleaching fabrics.

per length unit and area unit (WPCM, CPCM and stitch density) in line with standard UNE-EN 14971⁴⁷ to determine the laminar weight according to standard UNE-EN 14970⁴⁸ and the factors (K_c , K_w and K_r) by applying Münden's equations.

The lots are bleached by the exhaustion process. The dyeing conditions and the added products are respectively indicated in Figure 1 and Table 2.

After completing hydroextraction and then drying the lots, the pieces to be analyzed were identified, a sample of them was taken and they were left in a conditioning atmosphere.

Two relaxation states were distinguished after the dyeing process.

- Dyed and dry relaxation (DDR). The dyed knitted fabric was left in a conditioning atmosphere until a constant weight was obtained.
- Dyed and wet relaxation (DWR). The dyed and conditioned knitted fabric was left until a constant weight was obtained. Then a dimensional stability test was run with it according to regulation

Table 2. Products employed for scouring and bleaching process

Process	Product
A	Tannex Noveco
B	Procuest ND
C	Liquid Soda Lye
D	Hydrogen Peroxide
E	Ledebanc
F	Dianix violet BTE
G	Formic acid

UNE EN ISO 6330, of September 2012,⁴⁶ procedure 4N.

The relaxation states distinguished in the knitting and dyeing processes are represented in Figure 2.

Results and discussion

Variables of interest are represented by a boxplot. A boxplot is a graphical rendition of statistical data based on the minimum, first quartile, median, third quartile and maximum. The term “boxplot” comes from the fact that the graph looks like a rectangle with lines extending from the top and bottom.

Figures 3–6 show the corresponding results of the variables WPCM, CPCM, stitch density/cm² (SD) and SL from analyzing the 1 × 1 rib pieces with yarn counts 26.96 and 30.26Ne of 100% cotton and 50.24Ne 100% of cotton with EA and 22 dtex (half-plated in alternating courses), in relaxations states KDR, KWR, DDR and DWR.

Figures 7–10 show the corresponding results of the variables WPCM, CPCM, SD and SL in the analysis

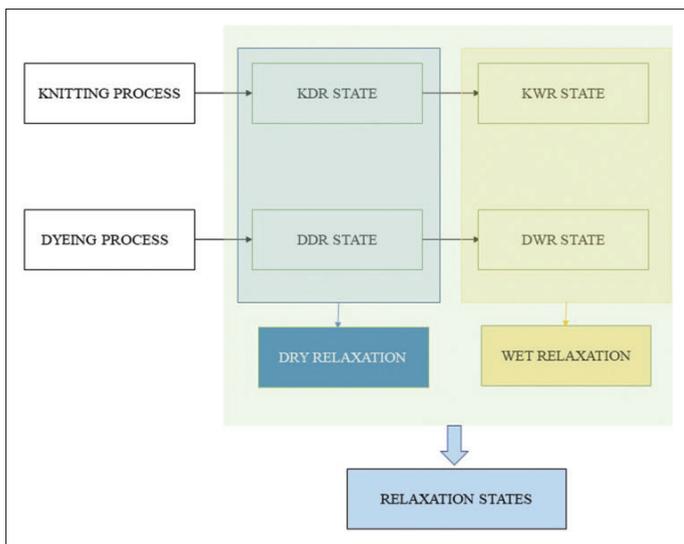


Figure 2. Relaxation states in the knitting and dyeing processes. KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

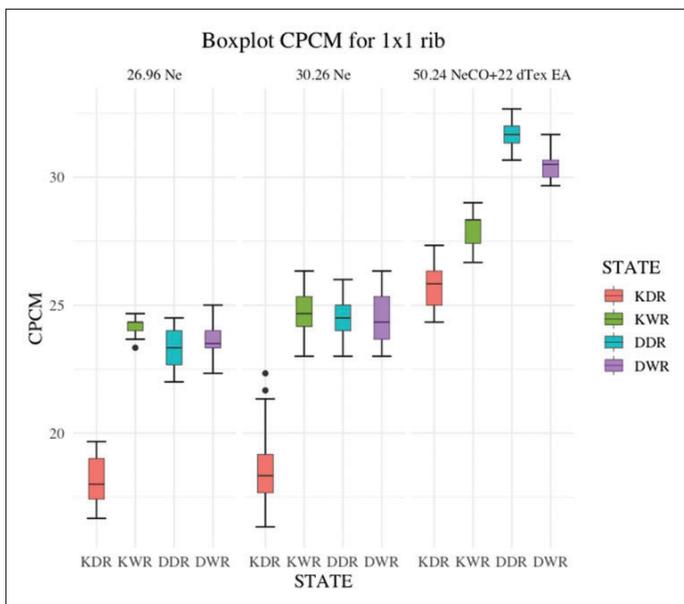


Figure 3. Number of courses per centimeter (CPCM) for 1 × 1 rib fabrics. EA: elastane; KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

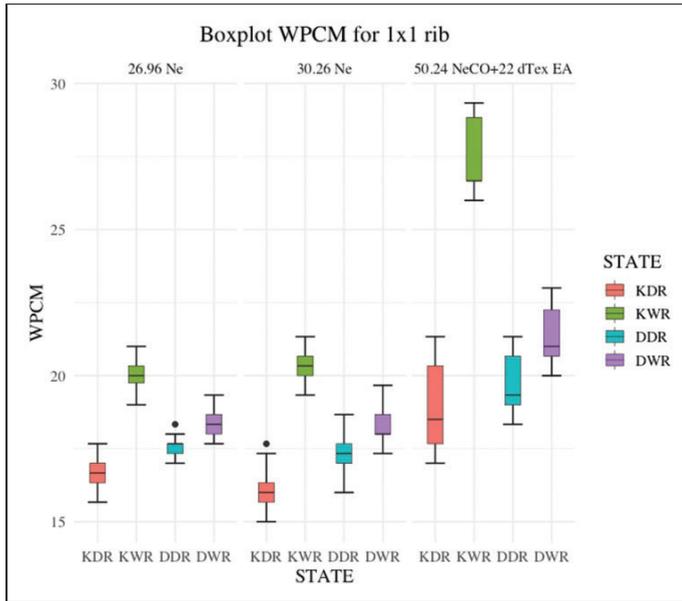


Figure 4. Number of wales per centimeter (WPCM) for 1×1 rib fabrics. EA: elastane; KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

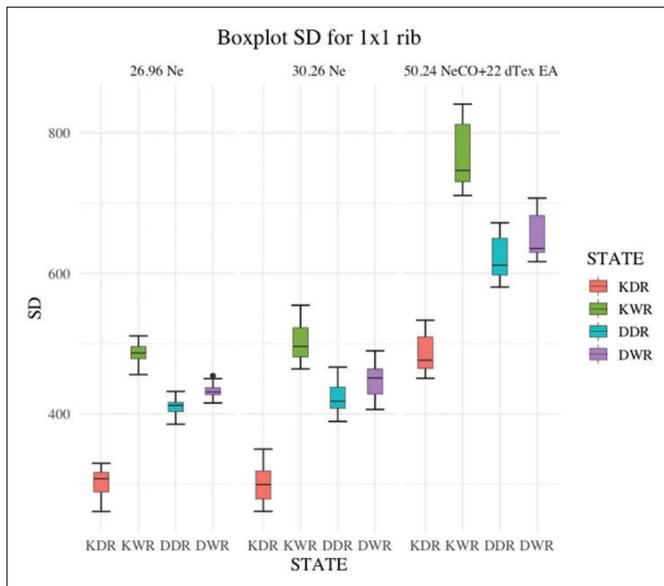


Figure 5. Stitch density/cm² (SD) for 1×1 rib fabrics. EA: elastane; KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

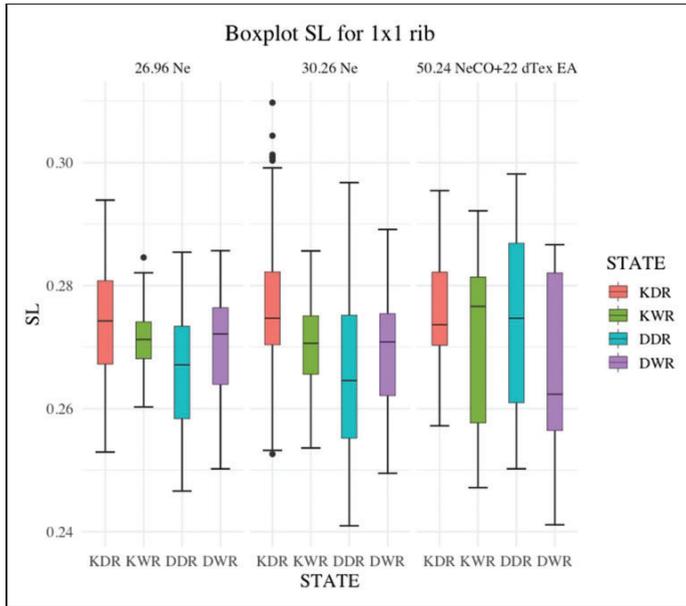


Figure 6. Loop length (SL) for 1 × 1 rib fabrics. EA: elastane; KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

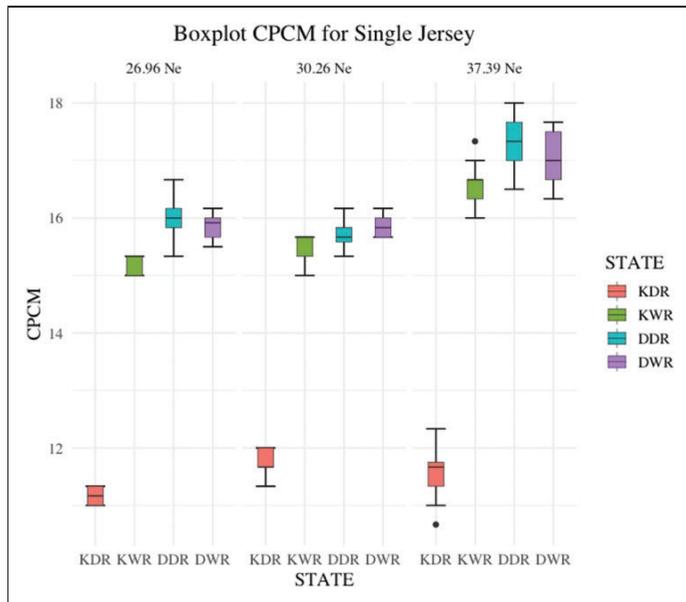


Figure 7. Number of courses per centimeter (CPCM) for single jersey fabrics. KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

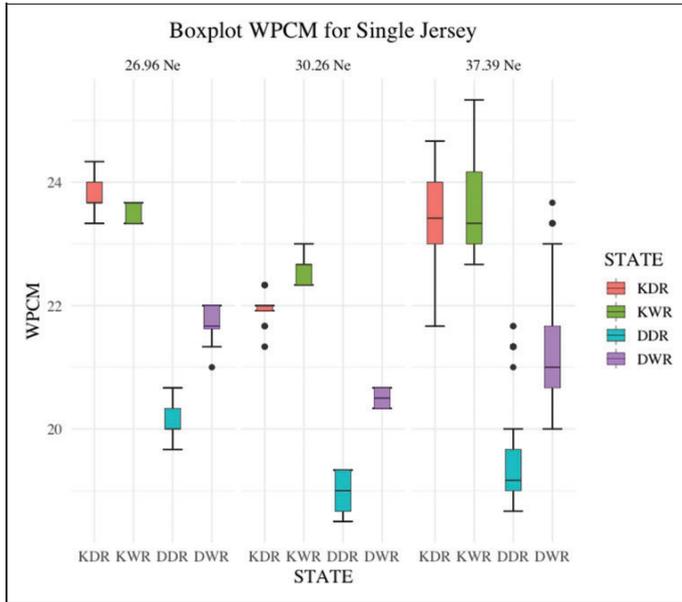


Figure 8. Number of wales per centimeter (WPCM) for single jersey fabrics. KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

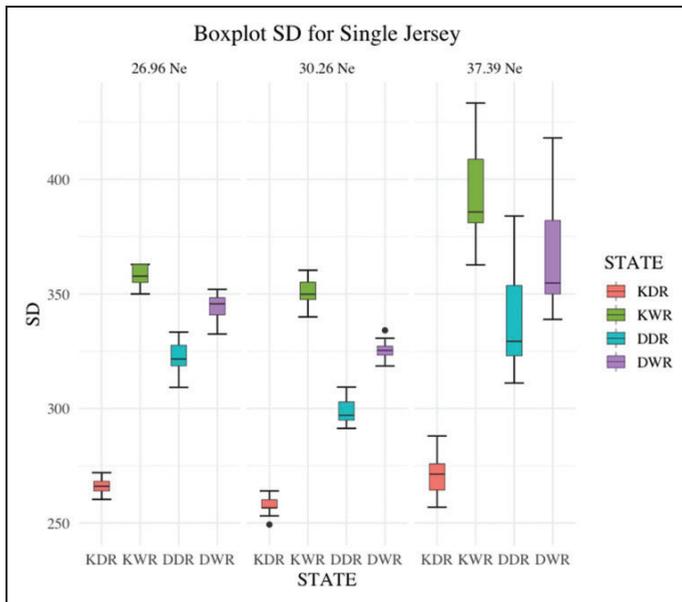


Figure 9. Stitch density/cm² (SD) for single jersey fabrics. KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

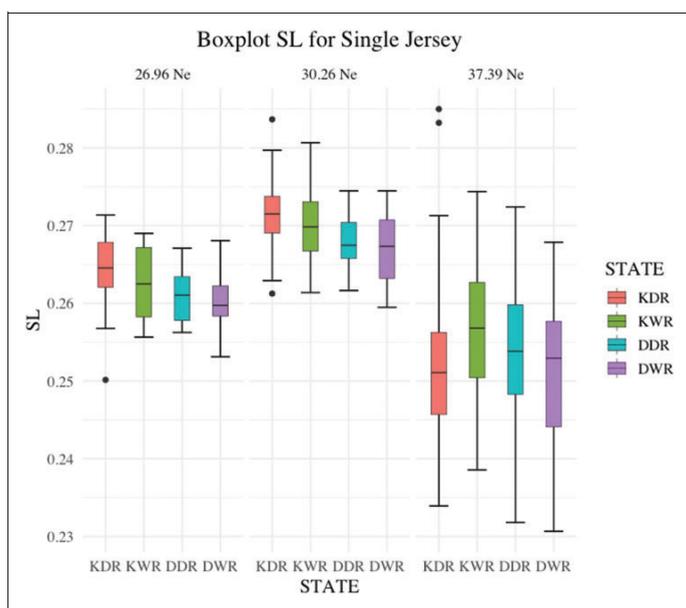


Figure 10. Loop length (SL) for single jersey fabrics. KDR: knitting and dry relaxation; KWR: knitting and wet relaxation; DDR: dyed and dry relaxation; DWR: dyed and wet relaxation.

Table 3. Valid models proposed by linear regression for all the studied 1×1 rib fabrics in relaxation states knitting and dry relaxation (KDR) and knitting and wet relaxation (KWR)

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			KDR		KWR	
			Linear relation	R^2	Linear relation	R^2
1×1 rib	SL	CPCM	$SL = \frac{0.182041 \cdot CPCM}{0.00105471 \cdot SD}$	97.80	$SL = \frac{0.1470478 \cdot CPCM}{0.00664432 \cdot SD}$	99.68
	SL	WPCM	$SL = \frac{0.215316 \cdot WPCM}{0.00105471 \cdot SD}$	99.42	$SL = \frac{0.170679 \cdot WPCM}{0.00664432 \cdot SD}$	98.49
	SL	SD	$SL = \frac{0.00105471 \cdot SD}{0.00105471 \cdot SD}$	95.72	$SL = \frac{0.00664432 \cdot SD}{0.00664432 \cdot SD}$	96.70

DV: dependent variable; IV: independent variable; WPCM: wales per centimeter; CPCM: courses per centimeter; SD: stitch density/cm²; SL: loop length (cm).

done with the single jersey pieces with yarn counts of 26.96, 30.26 and 37.39 Ne of 100% cotton in relaxation states KDR, KWR, DDR and DWR.

Having analyzed the fabrics in relaxation states KDR, KWR, DDR and DWR, the intention was to observe the relation linking the variables to obtain models that predict the SL of all the aforementioned relaxation states.

The models obtained by linear regression to predict the SL of the analyzed 1×1 rib fabrics in relaxation states KDR and KWR are found in Table 3.

The models obtained by linear regression that predict the SL of the studied single jersey fabrics

in relaxation states KDR and KWR are shown in Table 4.

The models obtained by linear regression to predict the SL of the 1×1 rib fabrics in relaxation states DDR and DWR are provided in Table 5.

The models obtained by linear regression that predict the SL of the studied single jersey fabrics in relaxation states DDR and DWR are presented in Table 6.

Figures 11–13 illustrate the linear regression models adjusted for the single jersey fabrics in relaxation state DWR.

For relaxation states KDR and KWR, it was possible to predict the SL variable by the models proposed

Table 4. Valid models proposed by linear regression for all the studied single jersey fabrics in relaxation states knitting and dry relaxation (KDR) and knitting and wet relaxation (KWR)

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			KDR		KWR	
			Linear relation	R ²	Linear relation	R ²
Single jersey	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.336763 \cdot CPCM}$	99.73	$SL = \frac{1}{0.2378748 \cdot CPCM}$	99.91
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.1676147 \cdot WPCM}$	99.76	$SL = \frac{1}{0.1640665 \cdot WPCM}$	99.96
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.01453059 \cdot SD}$	99.84	$SL = \frac{1}{0.01010196 \cdot SD}$	99.85

DV: dependent variable; IV: independent variable; WPCM: wales per centimeter; CPCM: courses per centimeter; SD: stitch density/cm²; SL: loop length (cm).

Table 5. Valid models proposed by linear regression for all the studied 1 × 1 rib in relaxations states dyed and dry relaxation (DDR) and dyed and wet relaxation (DWR)

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Linear relation	R ²	Linear relation	R ²
1 × 1 rib	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.145206 \cdot CPCM}$	98.00	$SL = \frac{1}{0.145762 \cdot CPCM}$	99.03
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.209909 \cdot WPCM}$	99.50	$SL = \frac{1}{0.196380 \cdot WPCM}$	99.53
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.0079753 \cdot SD}$	96.40	$SL = \frac{1}{0.00753594 \cdot SD}$	97.26

DV: dependent variable; IV: independent variable; WPCM: wales per centimeter; CPCM: courses per centimeter; SD: stitch density/cm²; SL: loop length (cm).

Table 6. Valid models proposed by linear regression for all the studied single jersey fabrics in relaxation states dyed and dry relaxation (DDR) and dyed and wet relaxation (DWR)

Sample	DV	IV	Relaxation states			
			DDR		DWR	
			Linear relation	R ²	Linear relation	R ²
Single jersey	SL	CPCM	$SL = \frac{1}{0.2312112 \cdot CPCM}$	99.87	$SL = \frac{1}{0.2348527 \cdot CPCM}$	99.94
	SL	WPCM	$SL = \frac{1}{0.1994994 \cdot WPCM}$	99.89	$SL = \frac{1}{0.1844150 \cdot WPCM}$	99.90
	SL	SD	$SL = \frac{1}{0.001183330 \cdot SD}$	99.82	$SL = \frac{1}{0.01103993 \cdot SD}$	99.87

DV: dependent variable; IV: independent variable; WPCM: wales per centimeter; CPCM: courses per centimeter; SD: stitch density/cm²; SL: loop length (cm).

for the analyzed 1 × 1 rib fabrics (Table 2) and single jersey fabrics (Table 3). The same can be stated for the models proposed in Tables 4 and 5 for the 1 × 1 rib and single jersey fabrics in relaxation states DDR and DWR, respectively. To this end, it was necessary to know some independent variables, such as the CPCM, WPCM and SD. These variables can be obtained quite quickly by applying standard UNE-EN 14971⁴⁷ and by simply using a thread counter. Nevertheless, in order to calculate SL according to standard UNE-EN 14970,⁴⁸ an apparatus that

measures yarn length, and that must be used in a laboratory, is necessary. By using the models herein presented it is possible to avoid the whole process set out in the standard, which speeds up the process followed to obtain the SL.

All the proposed models had an R² that exceeds 95%, which accounted for optimum variability from the existing linearity with the independent variables CPCM, WPCM and SD.

The proposed models underwent a cross-validation process, which consisted of validating the models for a

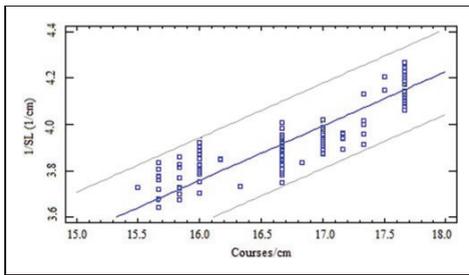


Figure 11. Linear regression model for single jersey fabrics (relation between courses per centimeter and loop length in the dyed and wet relaxation state).

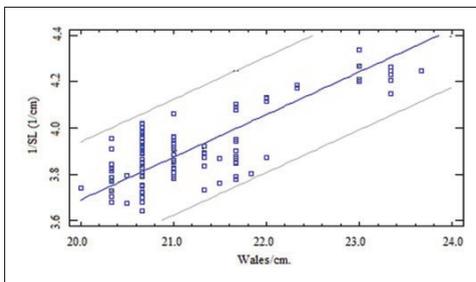


Figure 12. Linear regression model for single jersey fabrics (relation between wales per centimeter and loop length in the dyed and wet relaxation state).

test data set, which comprised a collection of lots of each fabric and machine diameter. This analysis included calculating the SL of each lot in relaxation states KDR, KWR, DDR and DWR. In parallel, the values estimated by the proposed models were calculated. The estimated error was the difference between the estimated value and the actual value.

The errors estimated with the models proposed to estimate the SL in relaxation states KDR and KWR for the 1×1 rib fabrics (Table 2) fell within the 0.015–0.075 cm range. Applying the models that use the independent variables WPCM in relaxation state KDR (with a maximum estimated error of 0.015 cm) and CPCM in relaxation state KWR (with a maximum estimated error of 0.007 cm) is recommended because it is more accurate. In the single jersey fabrics (Table 3), the minimum estimated error was 0.004 cm, and the maximum estimated error was 0.011 cm. Given its better accuracy, using the models that estimate the SL from the independent variable WPCM is recommended.

The errors estimated with the models proposed to make estimations in relaxation states DDR and DWR for the 1×1 rib knitted fabrics (Table 4) fell within a

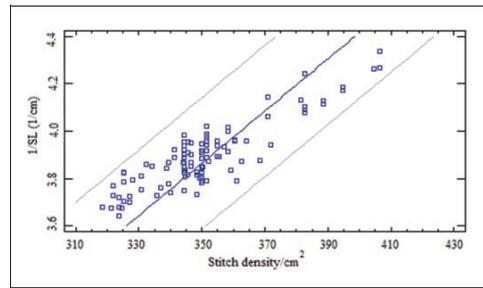


Figure 13. Linear regression model for single jersey fabrics (relation between stitch density/cm² and loop length in the dyed and wet relaxation state).

minimum value of 0.010 cm and a maximum of 0.041 cm. Using the models that predict the SL with the variables WPCM or CPCM is recommended, regardless of being in relaxation state DDR, and for state DWR, which uses the variable WPCM. The models proposed for the single jersey fabrics (Table 5) in relaxation states DDR and DWR gave errors that ranged between 0.005 and 0.009 cm, and the most accurate models were those that used the independent variables WPCM and CPCM.

Conclusions

This study investigated the dimensional properties of two groups of fabrics: one formed by three single jersey fabrics and another by three 1×1 rib fabrics. Linear regression models are proposed to predict SL in relaxation states KDR, KWR, DDR and DWR for the following fabrics.

- 1×1 rib fabrics: two fabrics made with yarn lengths 26.96 and 30.26 Ne 100% cotton and a third one made with yarn length 50.24 Ne half-plated cotton in alternating courses, 22 dtex EA (Tables 2 and 4).
- Single jersey fabrics made with yarn lengths 26.96, 30.26 and 37.39 Ne in 100% cotton (Tables 3 and 5).

When validating the models, the estimated errors made when using them for each structure were very small. So, it can be concluded that these models account for the variability obtained in all the proposed models.

What this demonstrates is that the proposed models can be suitably used to calculate the SL of the analyzed structures based on knowledge about some dimensional variables, for example, WPCM, CPCM and stitch density, in any relaxation state: KDR, KWR, DDR or DWR. This avoids having to follow the conventional procedure used to analyze them in line with standard

UNE-EN 14970, and avoids operations to identify wales, the direction that samples unweave in, cutting a long a column, counting the number of loops along a given length, removing yarn from knitted fabric, placing the measuring machine pincers by foreseeing loss of twist to measure its length and repeating this whole process 10 times to then calculate its mean. By running this procedure, and depending on the structure to be analyzed, it may be necessary to invest a considerable amount of time. The proposed models speed up this process.

At the same time, the present work demonstrates that the same procedure followed to predict the SL in interlock fabrics (2020) is valid to calculate the SL of the 1×1 rib and single jersey structures in any of the proposed relaxation states: KDR, KWR, DDR and DWR. To do so, the specific models for all three single jersey, 1×1 rib and interlock structures can be used.

This study propose to the reader an alternative procedure to find the value of the variable SL without the need to apply the standard UNE-EN 14970, in order to speed up the adjustment of the machines as much as possible for obtaining the desired fabric.

Declaration of conflicting interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship and/or publication of this article.

References

- Chamberlain J. *Hosiery yarns and fabrics*. Leicester: Leicester College of Technology and Commerce, 1926, p.107.
- Allan HS, Greenwood PF, Leah RD, et al. Prediction of Finished Weight and Shrinkage of Cotton Knits—The Starfish Project. Part I: Introduction and General Overview. *Text Res J* 1983; 53: 109–119.
- Singh G, Roy K, Varshney, R, et al. Dimensional parameters of single jersey cotton knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)* 2011; 36 .
- Amreeva G and Kurbak A. Experimental studies on the dimensional properties of half milano and milano rib fabrics. *Text Res* 2007; 77: 151–160.
- Black DH. Shrinkage control for cotton and cotton blend knitted fabrics. *Text Res J* 1974; 44: 606–611.
- Demiroz A. *A study of graphical representation of knitted structures*. PhD Thesis, UMIST, Manchester, UK, 1998.
- Gravas E, Kiekens P and Langenhove L. An approach to the 'Proknit' system and its value in the production of weft-knitted fabrics. *AUTEX Res J* 2005; 5: 220–227.
- Growers C and Hunter FN. The wet relaxed dimensions of plain knitted fabrics. *J Text Inst* 1978; 69: 108–115.
- Heap SA, Greenwood PF, Leah RD, et al. Prediction of finished weight and shrinkage of cotton knits—the Starfish Project: part I: introduction and general overview. *Text Res J* 1983; 53: 109–119.
- Heap SA. Low shrink cotton knits textiles fashioning the future. In: *textile institute annual world conference proceedings*, Nottingham, United Kingdom, 1989.
- Heap SA and Stevens JC. Shrinkage, if you can predict it you can control it. *Cotton Technol Int* 1993; 13: 32–32.
- Wickham H. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer, 2016..
- Kurbak A and Amreeva G. Creation of a geometrical model for milano rib fabric. *Text Res J* 2006; 76: 847–852.
- Leaf GAV and Glaskin A. Geometry of plain knitted loop. *J Text Inst* 1955; 46: T587.
- Leong KH, Falzon PJ, Bannister MK, et al. An investigation of the mechanical performance of weft knitted milano rib glass/epoxy composites. *Comp Sci Technol* 1988; 52: 239–251.
- Münden DL. The geometry and dimensional properties of plain knit fabrics. *J Text Inst* 1959; 50: T448–T471.
- Peirce FT. Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics. *Text Res J* 1947; 17: 123–147.
- Poincloux S, Adda-Bedia M and Lechenault F. Geometry and elasticity of a knitted fabric. *Phys Rev X* 2018; 8: 1–14.
- Münden DL. The dimensional behaviour of knitted fabrics. *J Text Inst* 1960; 51: 200–209.
- Munden DL. Knitting versus weaving. *Text Merc Int* 1963; 12: 10–13.
- Nayak R, Kanesalingam S, Houshyar S, et al. Effect of repeated laundering and dry-cleaning on the thermo-physiological comfort properties of aramid fabrics. *Fiber Polym* 2016; 17: 954–962.
- Doyle DJ. Fundamental aspects of the design of knitted fabrics. *J Text Inst* 1953; 44: 561–578.
- Nutting TS and Leaf GAV. A generalised geometry of weft knitted fabrics. *J Text Inst* 1968; 55: T45–53.
- Knaption JFF, Ahrens FI, Ingenthron WW, et al. The dimensional properties of knitted wool fabrics, part I: the plain knitted structure. *J Text Inst* 1968; 38: 999–1012.
- Knaption JFF, Truter EV and Aziz AKMA. Geometry, dimensional properties and stabilization of the cotton plain jersey structure. *J Text Inst* 1975; 66: 413–419.
- Fletcher HM and Roberts SH. The geometry of plain and rib knit fabrics and its relation to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1952; 22: 84–88.
- Fletcher HM and Roberts SH. The geometry of knit fabrics made of stape rayon and nylon and its relationship to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1952; 23: 37–42.
- Fletcher HM and Roberts SH. Distortion in knit fabrics and its relation to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1953; 23: 37–42.
- Fletcher HM and Roberts SH. Relationship of the geometry of plain knit cotton fabric to its dimensional change and elastic properties. *Text Res J* 1954; 24: 729–737.

30. Fletcher HM and Roberts SH. Elastic properties of plain and double knit cotton fabrics. *Text Res J* 1965; 35: 497–503.
31. Fletcher HM and Roberts SH. Dimensional stability and elasticity properties of plain knit wool fabrics with and without Wurlan finish. *Text Res J* 1965; 35: 993–999.
32. Aton JT. The Starfish Project: an integrated approach to shrinkage control in cotton knits. Part 4, The Starfish predictive modelo as a design toll. *Knit Int* 1986; 93: 37–40.
33. Greenwood PF. The Starfish project: an integrated approach to shrinkage control in cotton knits. Part 6, the influence of the laundering treatment. *Knit Int* 1986; 93: 58–60.
34. Heap SA, Greenwood PF, Leah RD, et al. Prediction of finished relaxed dimensions of cotton knits- the Starfish Project: part II: shrinkage and reference state. *Text Res J* 1985; 55: 211–222.
35. Leah RD. The Starfish Project: an integrated approach to shrinkage control in cotton knits. Part 5, finishing to achieve specification. *Knit Int* 1986; 93: 96–99.
36. Stevens JC. The Starfish project: an integrated approach to shrinkage control in cotton knits. Part 2, the influence of knitting and finishing variables on the relaxed (reference state) dimensions. *Knit Int* 1986; 93: 80–83.
37. Urkitt FH. The Starfish project: an integrated approach to shrinkage control in cotton knits. Part 1, introduction and definition of the reference state. *Knit Int* 1986; 93: 40–42.
38. Ulson AA, Cabral LF and Souza MAG. Prediction of dimensional changes in circular knitted cotton fabrics. *Text Res J* 2010; 80: 236–252.
39. Saravana KT and Sampath VR. Prediction of dimensional properties of weft knitted cardigan fabric by artificial neural network system. *J Ind Text* 2012; 42: 446–458.
40. Mobarok AKM. Prediction of dimension and performance of finished cotton knitted fabric from knitting variables. *Ann Univ Oradea Fascicle Text* 2012; 2: 99–103.
41. Eltahan EAe, Sultan M and Mito A-B. Determination of loop length, tightness factor and porosity of single jersey knitted fabric. *Alexandra Eng J* 2016; 55: 851–856.
42. Eltahan E. Effect of lycra percentages and loop length on the physical and mechanical properties of single jersey knitted fabrics. *J Compos* 2016; 7: 1–7.
43. Sitotaw D. Dimensional characteristics of knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/elastane yarns. *J Eng* 2018. Epub Ahead of print 2018. DOI:10.1155/2018/8784692.
44. Sitotaw D and Adamu B. Tensile properties of single jersey and 1x1 rib knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/lycra yarns. *J Eng*. Epub Ahead of print 2017. DOI:10.1155/2017/4310782.
45. Llinares J, Miró P and Díaz P. Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, wales and courses per centimeter analysis. *J Text Inst*. Epub Ahead of print 2020. DOI: 10.1080/00405000.2020.1714272.
46. UNE-EN ISO 6330: 2012. Procedimiento de lavado y secado domésticos para los ensayos textiles.
47. UNE-EN 14971: 2006. Determinación del número de puntadas por unidad de longitud y unidad de área.
48. UNE-EN 14970: 2007. Determinación de la longitud de hilo absorbido o consumido y de la masa lineal o título del hilo en los tejidos de punto por recogida.

Apéndice C

En este apéndice se ha introducido el tercer artículo publicado en la revista “Textile Research Journal” publicando algunas conclusiones obtenidas en esta tesis.

Calculation of interlock, 1×1 rib, and single jersey knitted fabrics shrinkage during the dyeing process after determining loop shape

Textile Research Journal
2021, Vol. 91(21–22) 2588–2599

© The Author(s) 2021



Article reuse guidelines:

sagepub.com/journals-permissions

DOI: 10.1177/00405175211014238

journals.sagepub.com/home/trj

Jorge Llinares Berenguer, Pablo Díaz-García  and Pau Miró Martínez

Abstract

This study investigated existing dimensional variations in knitted fabrics produced by weft-knitting technology for knitting and dry relaxation, dyed and dry relaxation, and dyed and wash relaxation for the interlock, 1×1 rib, and single jersey structures. This paper demonstrates that once the structure has been knitted, the shape that the loop takes in the fabric, and loop length and loop width, for each relaxation state will be the main factor responsible for dimensional variations in cotton knitted fabrics. It also shows how loop length affects knitted fabric dimensions when knitting machine parameters are modified by varying the use of feeders, and obtaining more loosely or more tightly knitted fabrics. In this study a model to predict the longitudinal and transversal shrinkage of interlock, 1×1 rib, and single jersey fabrics after the dyeing process is presented. This avoids following the conventional analysis procedure according to Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012 and, thus, avoids investing relatively long calculation times, which speeds up the production process by avoiding product lots being stopped. These results are important for textile industry technicians as they substantially simplify production calculations in weft-knitted fabrics companies. This work offers an effective method for predicting the longitudinal and transversal shrinkage and width of knitting fabrics after the dyeing process from the loop dimension after the knitting process. The application of the study results may help businesses to significantly save time and, consequently, imply an intermediate product stock investment saving.

Keywords

Knitted fabrics, shrinkage, wale spacing, course spacing, loop length

Controlling the dimensional stability of knitted fabrics throughout the production process is one of the most problematic purposes for people in charge of quality in textile industries. Any dimensional variations made to fabrics by stretching during the production process have to be removed or minimized as much as possible before moving on to the product's pattern cutting process because, otherwise, this stretching will cause the final garment to shrink. This is why an intermediate operation must be followed before the cutting process that confers the fabric the best possible maximum relaxation state. Compacting fabrics minimizes such shrinkage, but to do so entails having to previously know the dimensional variations of the fabric being dealt with by means of an analysis based on Standard UNE-EN ISO 6330¹ of September 2012. This analysis might take 1 day to perform, which entails stopping fabric production processes until its result is known.

Knowing variations in knitted fabrics earlier would speed up the production process, avoid stopping the process and, thus, better optimizing the production process and be, therefore, more competitive.

Obtaining dimensionally stable fabrics is what many researchers have focused on, as shown by the many studies found on this matter. The models proposed by Chamberlain,² Münden's equations,^{3–5} introducing the variable yarn count into Münden's equations by Nutting and Leaf,⁶ or Knapton et al.'s ways to achieve

Universitat Politècnica de València Plaza Ferrandiz y Carbonell, s/n Alcoy, Spain

Corresponding author:

Pablo Díaz-García, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrandiz y Carbonell, s/n Alcoy, 03801 Spain.

Email: pdiazga@txp.upv.es

dimensional stability,^{7,8} are examples of the interest that has long since been shown to obtain dimensionally stable fabrics. Ulson et al.⁹ proposed that the *K* factors put forward by Münden must be determined during each production process. Saravana and Sampath¹⁰ predicted the dimensional properties of a “double cardigan” structure. Mobarock¹¹ proposed some models to predict the weight (GSM), width and shrinkage of a finished cotton knitted fabric. Eltahan et al.^{12,13} determined some dimensional variables using mathematical equations. Sitotaw and Adamu^{14,15} studied the dimensional properties of 100% cotton and cotton/elastane fabrics. Llinares et al.¹⁶ proposed a procedure to calculate loop length in interlock fabrics and 1 × 1 rib¹⁷ by means of some mathematical models. Lu and Jiang¹⁸ proposed an algorithm that maps the yarn texture to the loop based on the loop geometrical model. Jiang et al.¹⁹ put forward a method to deform the loop central curve thought the interlacing point of the flat-knitted fabric. Fouda et al.²⁰ developed a mathematical model of plain single jersey knitted fabric.

Other research works have undertaken relevant studies which conceptualize, define, and mathematically formulate the dimensional behavior of knitted fabrics.^{21–37}

Objectives

The main objective of this study was to predict the dimensional variation of interlock, 1 × 1 rib, and single jersey knitted fabrics without having to apply Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012. Another of its objectives was to determine the existing relation between the different variables that influence the dimensional variation in knitted fabrics in the distinct production process stages in order to define a mathematical model that allows dimensional variations to be very simply predicted.

Consequently, this not only reduces the production process, but also improves competitiveness.

Experimental

Materials and methods

To maintain the representativeness of the possible knitting structures, several analyses were done of the different variables: structures, gauge, count yarn and feeding strains. The analyzed fabrics represented the three basic structures in circular knitting machines: interlock, 1 × 1 rib, and single jersey. The machine gauge employed in the interlock fabrics was E20, two gauges were used in the 1 × 1 rib fabrics, E16 was employed for the 100% cotton fabrics, and E18 for

the cotton/elastane ones. Machine gauge E22 was selected for the single jersey fabrics.

To conduct this study, the following knitted fabric pieces were analyzed:

- Single Jersey (cotton): 80 pieces of 15.83 Tex, 80 pieces of 19.44 Tex and 80 pieces of 21.96 Tex.
- Interlock (cotton): 80 pieces of 19.44 Tex (loosely knitted loops), 80 pieces of 19.44 tex (intermediately knitted loops) and 80 pieces of 19.44 tex (tightly knitted loops).
- 1 × 1 (cotton) 80 pieces of 19.44 Tex, 80 pieces of 21.96 Tex and 80 pieces of 11.77 Tex (these last pieces were half-plated EA).

These pieces were selected and traced throughout the production process, which involved 14,400 manufactured pieces (20 kg) corresponding to 720 lots of 20 pieces each.

The machines employed to make these knitted fabrics are shown in Table 1.

This study differentiated among three fabric relaxation states: one corresponded to that obtained after the knitting process, and two others by the dyeing process:

- **Knitting and dry relaxation (KDR).** Fabric produced by a circular knitting machine and left in a conditioning atmosphere (T:20°C and RH:65%) until constant weight.
- **Dyed and dry relaxation (DDR).** Knitted fabric dyed and left in a conditioning atmosphere until constant weight.
- **Dyed and wash relaxation (DWR).** The dyed and conditioned knitted fabric was left until constant weight. Then a dimensional stability test was run with it according to regulation UNE-EN ISO 6330, procedure 4N, using procedure C for drying. This domestic washing and drying procedure is used as these fabrics are to be used for make garments that will be subjected to these washing and drying conditions.

The experimental process began by knitting the indicated pieces after following the necessary processes so the cited relaxation states were achieved with them all, as follows:

- Number of loops per length/area unit (wales per centimeter, courses per centimeter, and stitch density) according to Standard UNE-EN 14971³⁸
- Lamina weight according to Standard UNE-EN 12127:1998³⁹
- Linear density and loop length according to Standard UNE-EN 14970⁴⁰

Table 1. The circular machines used to produce the knitted fabrics with interlock, 1 × 1 Rib 100% cotton, 1 × 1 Rib plated with EA, and 100% plain-knitted cotton structures

Structure	Model	Diameter (inches)	Gauge	Needles	No. Feeders
Interlock 100% CO	Mayer IHG II	12	E20	2x756	20
	Mayer IHG II	14	E20	2x876	36
	Jumberca DVK	16	E20	2x1008	32
	Mayer IHG II	17	E20	2x1056	32
	Jumberca DVK	18	E20	2x1128	36
	Mayer IHG II	20	E20	2x1260	40
	Jumberca DVK	22	E20	2x1380	44
	Jumberca DVK	24	E20	2x1512	48
1 × 1 Rib 100% CO	Mayer OV 3,2 QC	30	E20	2x1872	96
	Mayer FV 2.0	14	E16	2x708	29
	Jumberca DVI	16	E16	2x804	32
	Jumberca DVI	18	E16	2x900	36
1 × 1 Rib 95% CO 5% elastane/plated	Mayer FV 2.0	20	E16	2x1008	40
	Mayer FV 2.0	16	E18	2x804	32
Single Jersey	Mayer FV 2.0	18	E18	2x1008	36
	Mayer MV4 II	17	E22	1176	54
	Mayer MV4 3,2	18	E22	1248	57
	Mayer MV4 II	22	E22	1512	69
	Mayer MV4 II	24	E22	1656	78

- Fabric width, variation in area, wale spacing and course spacing.

Then the selected lots underwent an exhaustion chemical bleaching process. After the hydroextraction and subsequent drying steps, the pieces to be analyzed were identified by taking one sample of these pieces and leaving it in a conditioning atmosphere until the different states had been accomplished. In these states, they were analyzed to obtain the dimensional stability in accordance with Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012.

Having obtained the result of the variables wales/cm (WPCM), courses/cm (CPCM), stitch density/cm² (SD), weight (W), loop length (SL), course spacing (CS), wale spacing (WS), width, weight one loop (W 1 loop), and count for relaxation states KDR, DDR and DWR, longitudinal and transversal shrinkage for relaxation states DDR and DWR, the percentage variation obtained between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR was calculated by applying equations (1) and (2). Figure 1 represents the analyzed variables.

$$\text{Percentage Variation}_{KDR-DDR}(\%) = \frac{\text{Variable}_{DDR} - \text{Variable}_{KDR}}{\text{Variable}_{KDR}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{Percentage Variation}_{DDR-DWR}(\%) = \frac{\text{Variable}_{DWR} - \text{Variable}_{DDR}}{\text{Variable}_{DDR}} \cdot 100 \quad (2)$$

Tables 2–4 represent the percentage variations of these variables between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR, which were considered the most relevant ones for the interlock, 1 × 1 rib, and single jersey fabrics.

Results and discussion

The conclusions drawn from the results obtained with the three analyzed fabric types are provided below: interlock, 1 × 1 rib, and single jersey.

Interlock fabrics

Table 2 shows the results of the percentage variations of the analyzed variables of interlock fabrics.

Figure 2 shows the percentage dimensional variations of the most significant variables of the three analyzed interlock structures. We can see how between relaxation states KDR–DDR, the variable that most increased was WPCM, while the wale spacing variable was that which most decreased. The variables weight and SD also significantly increased. Between relaxation

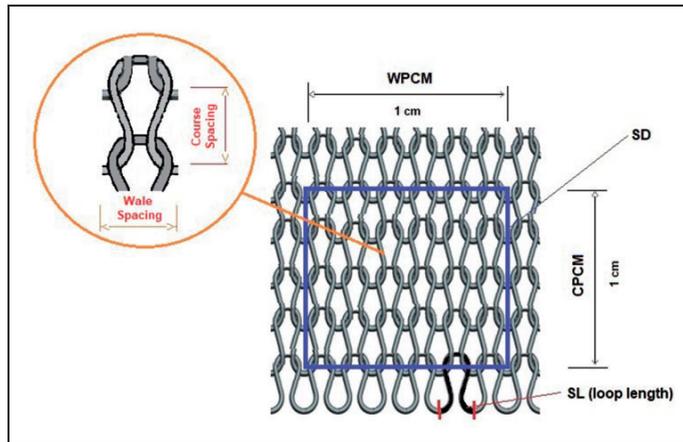


Figure 1. Graphical representation of the studied dimensional variables.

states DDR–DWR, the greatest increase was for the CPCM variable, while the course spacing variable decreased the most.

We conclude that the percentage variation of the loop length forming the interlock fabrics showed a more marked dimensional change after the dyeing process, and its length was prolonged up to 7.5% in the more loosely knitted fabrics.

In state DWR, variation did not exceed 3.1% shrinkage. However, this is a relatively minor variation compared with those obtained in dimensional variables Course spacing and Wale spacing, where the variable Course spacing presented the greatest shrinkage after the dyeing process, whereas the widest variation went to the variable Wale spacing after the DWR state.

These two variables are those that determine loop shape in each relaxation state. Therefore, the shape that it takes in the fabric in each relaxation state will be that which will determine a fabric's dimensional variation to a greater extent.

Figure 3 shows the same interlock structure with the yarn count for 19.44 Tex 100% cotton with intermediately knitted loops in relaxation states KDR, DDR, and DWR.

1 × 1 rib fabrics

Table 3 shows the results of the percentage variations of the analyzed variables of the 1 × 1 rib fabrics.

Figure 4 shows the percentage dimensional variations of the most significant variables for the analyzed 1 × 1 rib structures. The widest variations were obtained between relaxation states KDR–DDR, where the variables WPCM, SD and weight increased the most, and the variables wale spacing and area

decreased the most. However, the percentage variations were not so significant between relaxation states DDR–DWR.

The variable Wale spacing presented the widest variation after the dyeing process by shrinking up to a mean of 22% and not stretching by more than 0.9% in the cotton fabrics, but stretched by more than 4% in the cotton/elastane fabrics when it reached its maximum relaxation state. Thus its loop shape changed in width terms. After the dyeing process, the variable Course spacing shrunk less than a mean of 5.2% in all cases. It underwent its most marked change by shrinking by up to 8% between relaxation states DDR–DWR, which conferred the fabric its maximum relaxation state.

Figure 5 shows the same 1 × 1 rib structure with the 21.96 Tex 100% cotton yarn count in relaxation states KDR, DDR, and DWR.

Single jersey fabrics

Table 4 shows the results of the percentage variations of the analyzed variables of the single jersey fabrics. Figure 6 graphically illustrates the percentage variations of the variables studied in the single jersey structures.

In the single jersey fabrics, the WPCM variable increased the most between relaxation states KDR–DDR, while the CPCM variable decreased much more discreetly. The variables SD and weight also significantly increased between these two relaxation states, while the variables wale spacing and area decreased the most. However, neither the variations between relaxation states DDR–DWR nor the variation in loop length in all the relaxation states were so relevant.

Table 2. Percentage variations obtained from the analysis of three interlock structures between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR

Sample No.	Variations of the variable	Relaxation States					
		KDR–DDR (%)			DDR–DWR (%)		
		\bar{X}	s_i	IC	\bar{X}	s_i	IC
19.44 Tex Loosely knitted loops	CPCM	-0.886	3.454	[-2.175; 0.405]	11.218	4.990	[9.354; 13.082]
	WPCM	17.846	5.303	[15.865; 19.826]	-0.053	0.040	[-0.068; -0.039]
	SD	16.684	4.024	[15.181; 18.187]	5.124	2.183	[4.309; 5.940]
	W	19.280	6.270	[16.939; 21.622]	2.146	5.336	[0.153; 4.139]
	SL	7.374	5.725	[5.235; 9.512]	-2.827	3.702	[-4.209; -1.445]
	CS	1.013	3.562	[-0.316; 2.344]	-9.914	3.984	[-11.401; -8.427]
	WS	-14.973	3.914	[-16.434; -13.512]	5.811	4.566	[4.105; 7.516]
	Width	-17.037	3.505	[-18.345; -15.728]	3.482	3.198	[2.288; 4.677]
	Count	-2.699	5.304	[-4.679; -0.719]	0.391	4.503	[-1.290; 2.073]
	W (1 loop)	-1.372	5.467	[-3.413; 0.670]	3.111	5.214	[1.163; 5.058]
	Longitudinal Shrinkage	-	-	-	-9.007	2.731	[-10.026; -7.987]
	Transversal Shrinkage	-	-	-	4.010	3.055	[2.869; 5.151]
	19.44 Tex Intermediately knitted loops	CPCM	-3.586	3.263	[-4.312; -2.860]	10.105	2.885
WPCM		27.667	4.682	[26.625; 28.710]	-0.039	0.032	[-0.046; -0.032]
SD		22.979	3.168	[22.273; 23.684]	5.758	2.637	[5.171; 6.345]
W		18.492	3.643	[17.681; 19.303]	5.754	2.054	[5.297; 6.212]
SL		2.861	4.288	[1.906; 3.816]	-2.024	2.600	[-2.602; -1.446]
CS		3.833	3.417	[3.072; 4.594]	-9.115	2.398	[-9.648; -8.582]
WS		-21.566	2.931	[-22.218; -20.914]	4.164	3.474	[3.390; 4.938]
Width		-21.742	3.113	[-22.435; -21.050]	3.626	2.777	[3.007; 4.244]
Count		-3.015	4.599	[-4.038; -1.992]	0.359	4.474	[-0.636; 1.355]
W (1 loop)		-4.308	4.650	[-5.343; -3.274]	2.411	6.311	[1.007; 3.816]
Longitudinal Shrinkage		-	-	-	-8.326	2.929	[-8.978; -7.674]
Transversal Shrinkage		-	-	-	4.401	3.551	[3.611; 5.192]
19.44 Tex Tightly knitted loops		CPCM	-5.329	3.625	[-6.141; -4.518]	9.735	3.041
	WPCM	26.308	3.544	[25.514; 27.102]	-0.031	0.028	[-0.037; -0.026]
	SD	19.536	4.720	[18.479; 20.594]	6.241	2.837	[5.605; 6.877]
	W	13.637	4.664	[12.628; 14.718]	6.906	2.588	[6.326; 7.486]
	SL	1.388	4.887	[0.293; 2.483]	-1.865	2.922	[-2.519; -1.211]
	CS	5.782	4.051	[4.874; 6.690]	-8.802	2.516	[-9.365; -8.239]
	WS	-20.767	2.234	[-21.267; -20.267]	3.330	3.030	[2.651; 4.009]
	Width	-19.734	2.185	[-20.223; -19.245]	2.130	1.909	[1.701; 2.558]
	Count	-2.774	4.627	[-3.810; -1.738]	0.244	4.919	[-0.858; 1.346]
	W (1 loop)	-4.594	5.801	[-5.893; -3.295]	1.664	6.361	[0.238; 3.089]
	Longitudinal Shrinkage	-	-	-	-8.144	1.701	[-8.525; -7.764]
	Transversal Shrinkage	-	-	-	2.410	2.174	[1.923; 2.898]

M: Mean; s_i : Standard deviation; CI: 95% Confidence interval.

We concluded that the variable *SL* was not significant enough to explain the dimensional variation in the single jersey fabrics between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR. The loop shape in each relaxation state, characterized by the dimensional variables *W*ale spacing and *C*ourse spacing, would be responsible mainly for the dimensional variation of the single jersey fabrics.

Figure 7 shows the same single jersey structure with the 21.96 Tex 100% cotton yarn count in relaxation states KDR, DDR, and DWR.

The conclusion drawn from the results obtained after analyzing the fabrics with the interlock, single jersey, and 1×1 rib structures, was that fabric shrinkage is not caused by changes in loop length because the loop configuration in each relaxation state is mainly responsible.

After concluding that the loop shape in each relaxation state is responsible mainly for the dimensional variation in all the fabric interlock, 1×1 rib, and single jersey structures analyzed between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR, we then analyzed

Table 3. Percentage variations obtained from the analysis of three analyzed and produced 1 × 1 Rib structures between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR

Sample No.	Variations of the variable	Relaxation States					
		KDR–DDR (%)			DDR–DWR (%)		
		\bar{X}	s_i	IC	\bar{X}	s_i	IC
19.44 Tex	CPCM	5.637	4.591	[4.542; 6.733]	8.877	2.852	[5.196; 6.558]
	WPCM	34.590	9.508	[32.323; 36.858]	0.002	0.040	[−0.007; 0.012]
	SD	41.928	8.040	[40.010; 43.845]	6.023	3.483	[5.192; 6.854]
	W	34.674	8.242	[32.708; 36.640]	6.642	3.179	[5.883; 7.400]
	SL	−4.375	6.410	[−5.903; −2.847]	1.746	2.877	[1.060; 2.433]
	CS	−5.162	4.082	[−6.135; −4.189]	−5.483	2.559	[−6.093; −4.873]
	WS	−25.339	5.209	[−26.581; −24.098]	−0.043	3.996	[−0.996; 0.910]
	Width	−23.745	5.911	[−25.154; −22.337]	−1.386	2.690	[−2.027; −0.745]
	Count	−2.382	4.497	[−3.454; −1.311]	0.127	3.821	[−0.783; 1.039]
	W (1 loop)	−6.587	6.954	[−8.244; −4.929]	1.771	5.077	[0.560; 2.982]
	Longitudinal Shrinkage	–	–	–	−4.700	1.803	[−5.129; −4.271]
Transversal Shrinkage	–	–	–	2.013	0.849	[2.740; 8.834]	
21.96 Tex	CPCM	4.123	2.845	[3.387; 4.858]	4.570	2.004	[4.052; 5.088]
	WPCM	28.447	6.699	[26.716; 30.178]	0.009	0.029	[0.001; 0.017]
	SD	33.675	6.681	[31.949; 35.402]	5.479	2.576	[4.813; 6.145]
	W	28.872	5.880	[27.353; 30.392]	5.907	2.992	[5.134; 6.681]
	SL	−3.083	4.792	[−4.320; −1.846]	1.711	3.123	[0.904; 2.518]
	CS	−3.888	2.659	[−4.575; −3.202]	−4.336	1.838	[−4.810; −3.862]
	WS	−21.941	4.021	[−22.979; −20.903]	−0.810	2.857	[−1.548; −0.073]
	Width	−22.377	3.859	[−23.373; −21.380]	−0.878	2.157	[−1.435; −0.321]
	Count	−4.062	3.754	[−5.032; −3.093]	0.305	3.673	[−0.644; 1.254]
	W (1 loop)	−6.277	5.446	[−7.683; −4.871]	1.210	4.788	[−0.026; 2.448]
	Longitudinal Shrinkage	–	–	–	−4.477	1.129	[−4.768; −4.186]
Transversal Shrinkage	–	–	–	−0.773	2.967	[−1.539; −0.007]	
11.77 Tex CO + 22 dTex EA	CPCM	4.256	3.834	[2.824; 5.688]	8.758	2.607	[7.784; 9.733]
	WPCM	22.950	4.170	[21.393; 24.508]	−0.036	0.024	[−0.045; −0.028]
	SD	28.063	3.033	[26.930; 29.196]	4.791	2.844	[3.728; 5.853]
	W	22.995	3.328	[21.752; 24.238]	5.980	1.561	[5.396; 6.563]
	SL	−0.157	5.052	[−2.043; 1.730]	−3.187	1.733	[−3.834; −2.540]
	CS	−3.958	3.510	[−5.268; −2.648]	−8.002	2.207	[−8.825; −7.178]
	WS	−18.574	2.810	[−19.623; −17.525]	3.824	2.527	[2.880; 4.769]
	Width	−17.033	1.685	[−17.663; −16.405]	2.832	1.195	[2.385; 3.278]
	Count	−2.862	4.101	[−4.393; −1.331]	0.395	3.452	[−0.894; 1.684]
	W (1 loop)	−6.497	5.610	[−8.591; −4.402]	0.932	4.888	[−0.893; 2.758]
	Longitudinal Shrinkage	–	–	–	−7.280	1.305	[−7.767; −6.793]
Transversal Shrinkage	–	–	–	2.013	0.849	[1.696; 2.331]	

M: Mean; s_i : Standard deviation; CI: 95% Confidence interval.

the existing relation among these structures to obtain models to predict the dimensional stability in the longitudinal and transversal directions in the maximum relaxation state (DWR). The loop shape adopted in each relaxation state, which is characterized by the dimensional variables Wale spacing and Course spacing, would be responsible mostly for dimensional variation. The variables chosen to predict dimensional variation were Course spacing (CS) and Wale spacing (WS). As Figure 1 shows, these variables respectively

represent the longitudinal and transverse dimension of the tool.

The models obtained by linear regression to predict the variables Wale spacing and Course spacing in relaxation state DWR, by using the same variables known in relaxation state DDR, are found in Table 5.

Figures 8 and 9 graphically represent the models obtained by linear regression to estimate Course spacing in relaxation state DWR according to knowledge of

Table 4. Percentage variations obtained from the analysis of three analyzed and produced single jersey structures between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR.

Sample No.	Variations of the variable	Relaxation States					
		KDR–DDR (%)			DDR–DWR (%)		
		\bar{X}	s_i	IC	\bar{X}	s_i	IC
15.83 Tex	CPCM	-16.552	3.637	[-17.388; -15.715]	9.472	2.175	[8.971; 9.973]
	WPCM	50.058	7.452	[48.343; 51.773]	-0.014	0.019	[-0.019; -0.011]
	SD	25.180	7.696	[23.409; 26.951]	7.872	1.907	[7.433; 8.312]
	W	21.377	8.147	[19.502; 23.252]	9.205	2.018	[8.740; 9.669]
	SL	0.712	4.033	[-0.215; 1.641]	-0.664	2.092	[-1.144; -0.183]
	CS	20.056	5.160	[18.868; 21.244]	-8.617	1.810	[-9.033; -8.201]
	WS	-33.192	3.408	[-33.976; -32.408]	1.497	1.910	[1.057; 1.933]
	Width	-33.623	3.003	[-34.313; -32.933]	0.993	1.102	[0.739; 1.243]
	Count	-1.868	5.428	[-3.116; -0.619]	0.322	4.313	[-0.670; 1.315]
	W (1 loop)	-2.699	6.519	[-4.199; -1.200]	1.152	5.054	[-0.010; 2.315]
	Longitudinal Shrinkage	-	-	-	-9.403	1.949	[-9.851; -8.955]
Transversal Shrinkage	-	-	-	1.301	1.230	[1.018; 1.585]	
19.44 Tex	CPCM	-13.235	1.818	[-14.086; -12.384]	7.645	2.116	[6.654; 8.635]
	WPCM	33.454	3.308	[31.905; 35.003]	0.012	0.020	[0.003; 0.022]
	SD	15.756	2.297	[14.680; 16.831]	8.979	2.623	[7.751; 10.203]
	W	14.016	1.453	[13.336; 14.697]	7.775	1.516	[7.066; 8.485]
	SL	-1.312	2.425	[-2.447; -0.177]	-0.305	1.093	[-0.816; 0.207]
	CS	15.302	2.425	[14.167; 16.437]	-7.068	1.814	[-7.916; -6.220]
	WS	-25.024	1.838	[-25.884; -24.165]	-1.196	1.952	[-2.109; -0.283]
	Width	-25.679	1.399	[-26.334; -25.025]	0.587	0.702	[0.258; 0.916]
	Count	-3.044	5.564	[-5.647; -0.440]	1.016	6.065	[-1.822; 3.855]
	W (1 loop)	-3.171	6.310	[-6.124; -0.219]	-0.480	5.173	[-2.901; 1.941]
	Longitudinal Shrinkage	-	-	-	-7.680	1.302	[-8.289; -7.071]
Transversal Shrinkage	-	-	-	0.900	1.077	[0.395; 1.404]	
21.96 Tex	CPCM	-15.331	1.184	[-15.885; -14.777]	7.660	1.486	[6.964; 8.353]
	WPCM	43.235	3.236	[41.719; 44.747]	-0.008	0.015	[-0.014; -0.001]
	SD	21.261	2.618	[20.036; 22.486]	6.845	2.288	[5.774; 7.917]
	W	16.622	1.918	[15.624; 17.420]	5.265	0.927	[4.830; 5.699]
	CS	18.128	1.644	[17.359; 18.898]	-7.098	1.281	[-7.698; -6.499]
	WS	-30.151	1.539	[-30.870; -29.431]	0.786	1.517	[0.076; 1.497]
	Width	-27.064	0.479	[-27.287; -26.840]	1.034	0.649	[0.730; 1.338]
	Count	-4.747	3.511	[-6.390; -3.104]	0.007	3.402	[-1.585; 1.599]
	W (1 loop)	-6.549	3.921	[-8.383; -4.714]	0.479	3.847	[-1.321; 2.279]
	Longitudinal Shrinkage	-	-	-	-6.060	0.864	[-6.464; -5.556]
	Transversal Shrinkage	-	-	-	0.980	0.728	[0.639; 1.321]

M: Mean; s_i : Standard deviation; CI: 95% Confidence interval.

the same variable in state DDR for the 1 × 1 rib and single jersey structures, respectively.

Once the value of variables WS_{DWR} and CS_{DWR} are known, the dimensional variation in length and width can be estimated by these equations:

$$Longitudinal\ Shrinkage(\%) = \frac{CS_{DWR} - CS_{DDR}}{CS_{DDR}} \cdot 100 \tag{3}$$

$$Transversal\ Shrinkage(\%) = \frac{WS_{DWR} - WS_{DDR}}{WS_{DDR}} \cdot 100 \tag{4}$$

With the models proposed for the interlock, 1 × 1 rib, and single jersey structures (Table 5), longitudinal shrinkage and transversal shrinkage can be predicted with knowledge about the independent variables *Wale spacing* and *Course spacing* in relaxation state DDR. These models presented an R^2 above 99% in all cases, which very well explains variability according to the linearity with the independent variables *Wale spacing* and *Course spacing*. This speeds up the process to calculate them because it avoids having to apply the normal procedure according to Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012, procedure



Figure 2. The dimensional variations as percentages obtained by analyzing the three interlock structures made with 19.44 Tex 100% cotton with loosely knitted loops (SL=0.360 cm), intermediately knitted loops (SL=0.340 cm) and tightly knitted loops (SL = 0.320 cm) between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR.

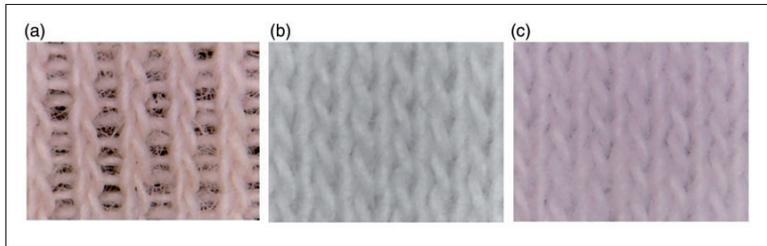


Figure 3. The interlock structure with intermediately knitted loops in relaxation states KDR (a), DDR (b), and DWR (c).

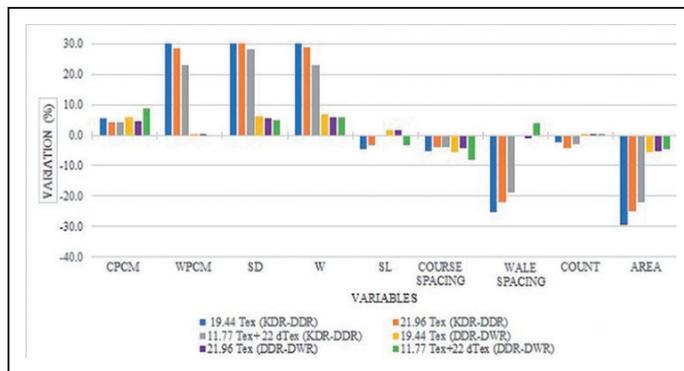


Figure 4. Dimensional variations as the percentages obtained from analyzing the three produced 1 × 1 rib structures, two of which with 19.44 and 21.96 Tex 100% cotton, and one with 11.77 Tex with half-plated 22 dTex elastane, between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR.

4N. This saves time by not having to perform the whole process.

Next the proposed models were validated by a process that consisted of analyzing the set of the

representative items of each fabric and machine diameter. This analysis involved determining the dimensional variation in length and width according to Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012 to, thus, obtain

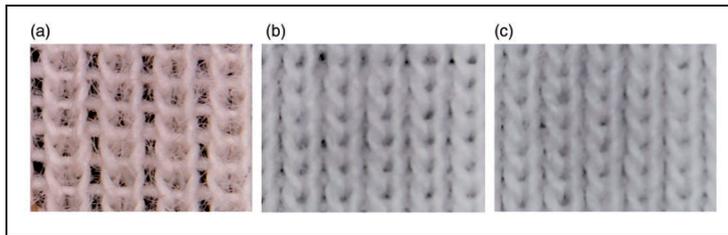


Figure 5. The 1 × 1 rib structure with the 21.96 Tex yarn count in relaxation states KDR (a), DDR (b), and DWR (c).

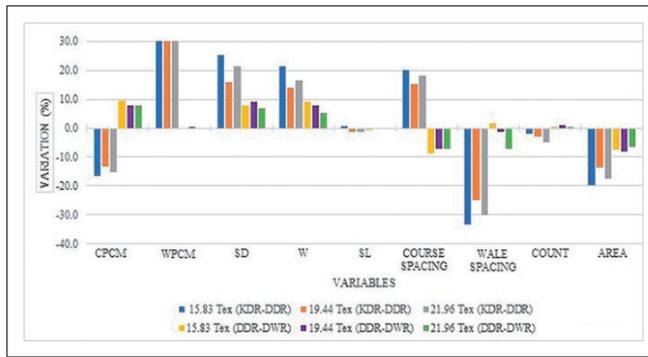


Figure 6. Dimensional variations in the percentages obtained by analyzing the three single jersey structures made with 15.83, 19.44 and 21.96 Tex 100% cotton between relaxation states KDR–DDR and DDR–DWR.

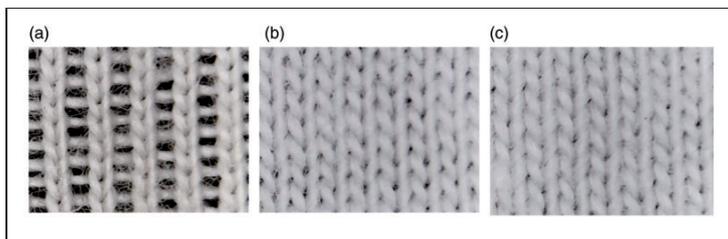


Figure 7. The single jersey structure in relaxation states KDR (a), DDR (b), and DWR (c).

Table 5. The linear regression models proposed to estimate the Wale spacing and Course spacing of the analyzed interlock, 1 × 1 rib, and single jersey fabrics in relaxation state DWR.

Sample (Count)	DV	IV	Relaxation State DWR	
			Linear relation	R ²
Interlock	CS _{DWR}	CS _{DDR}	CS _{DWR} = 0.907501 · CS _{DDR}	99.90
	WS _{DWR}	WS _{DDR}	WS _{DWR} = 1.040398 · WS _{DDR}	99.88
1 × 1 Rib	CS _{DWR}	CS _{DDR}	CS _{DWR} = 0.944945 · CS _{DDR}	99.93
	WS _{DWR}	WS _{DDR}	WS _{DWR} = 0.999866 · WS _{DDR}	99.87
Single jersey	CS _{DWR}	CS _{DDR}	CS _{DWR} = 0.918711 · CS _{DDR}	99.96
	WS _{DWR}	WS _{DDR}	WS _{DWR} = 1.007812 · WS _{DDR}	99.96

DV: Dependent variable; IV: Independent variable; WS_{DWR}: Wale spacing in relaxation state DWR; WS_{DDR}: Wale spacing in relaxation state DDR; CS_{DWR}: Course spacing in relaxation state DWR; CS_{DDR}: Course spacing in relaxation state DDR.

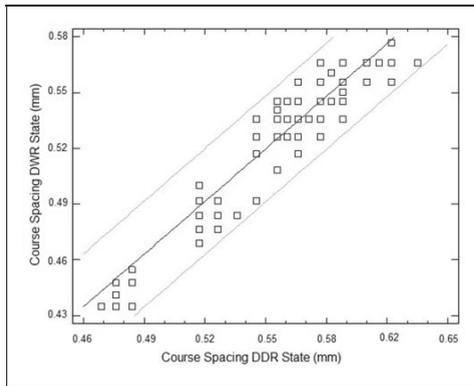


Figure 8. Graphical representation of the model obtained by linear regression to predict the variable Course spacing in relaxation state DWR knowing the same variable in state DDR for the 1×1 rib structures.

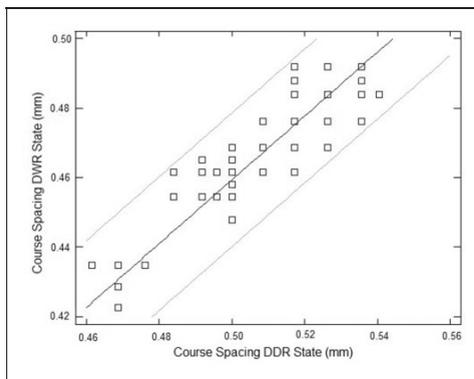


Figure 9. Graphical representation of the model obtained by linear regression to predict the variable Course spacing in relaxation state DWR knowing the same variable in state DDR for the single jersey structures.

the real value. In parallel, these variables were estimated using the proposed models. The estimated error would be the difference between the estimated values and the real values.

The estimated errors of the models proposed to estimate the dimensional variation in the 1×1 rib, interlock, and single jersey knitted fabrics in relaxation state DWR were minor and always below 2% for both length and width. Thus we conclude that these models very efficiently presented the variability obtained from all the proposed fabric structures. This was evidenced in the results obtained in the interlock, single jersey, and 1×1 rib structures: fabric shrinkage

was not caused by changes in yarn length because the loop configuration in each relaxation state was the most responsible factor.

Conclusions

This study investigated variations in the percentage values obtained with the dimensional variables analyzed in the three basic single jersey, 1×1 rib, and interlock structures. For each structure, three fabric types were analyzed with different counts and loop lengths.

The results obtained in the interlock, single jersey, and 1×1 rib structures evidenced that fabric shrinkage is not caused by changes in yarn length because the loop configuration in each relaxation state was the most responsible factor.

Loop length was found to affect fabric dimensions when knitting machine feeders were fed more or less yarn which would, hence, lead to more tightly or more loosely knitted fabrics. After knitting the structure, the loop shape inside the fabric in each relaxation state would be responsible mainly for its dimensional variations. To a great extent, loop shape would depend on the strains that fabrics undergo, caused by stretchings during the production process. This means that the loop has to take a given shape because the loop itself is unable to overcome any friction forces between these loops to return to its minimum energy state. This also means that several washing cycles with stirring are necessary so that fabrics can return to their maximum relaxation state.

We proposed linear regression models to predict the dimensional variables Wale spacing and Course spacing in relaxation state DWR for the interlock, 1×1 rib, and single jersey structures. With knowledge about these variables, the longitudinal shrinkage and transversal shrinkage of the proposed fabrics were predicted, which speeds up the process to calculate them because it avoids having to apply the conventional procedure in line with Standard UNE-EN ISO 6330 of September 2012. Consequently, this saves time being spent on performing the whole process.

While validating these models, any estimated errors were only very slight. Therefore, we conclude that these models explained the variability obtained with all the proposed fabric structures.

All these results demonstrate that the proposed models are suitable for calculating the dimensional stability of both the length and width of the analyzed interlock, 1×1 rib, and single jersey fabrics using knowledge about the variables Wale spacing and Course spacing in relaxation state DDR.

This study is of much relevance for technicians of textile industries as it greatly simplifies the production

calculations made in weft-knitted fabrics companies. It offers an effective method to predict both longitudinal and transversal shrinkages of knitted fabrics after the dyeing process from loop dimension after the knitting process. Applying the results of this study may save businesses considerable time and, consequently, imply an intermediate product stock investment saving. By applying the developed model, businesses will no longer need to use common calculation methods in line with Standard EN ISO 6330 – 2012, which requires a 1-day production standstill.

Declaration of conflicting interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

ORCID iD

Pablo Diaz-García  <https://orcid.org/0000-0002-7093-6061>

References

1. UNE-EN ISO 6330. Procedimiento de lavado y secado domésticos para los ensayos textiles, 2012; 7–16.
2. Chamberlain J. *Hosiery Yarns and Fabrics*. Leicester: Leicester College of Technology and Commerce, 1926, p.107.
3. Münden DL. The geometry and dimensional properties of plain knit fabrics. *J Textile Inst* 1959; 50: T448–T471.
4. Münden DL. The dimensional behaviour of knitted fabrics. *J Textile Inst* 1960; 51: 200–209.
5. Münden DL. Knitting versus weaving. *Textile Mercury Int* 1963; 12: 10–13.
6. Nutting TS and Leaf GAV. A generalised geometry of weft knitted fabrics. *J Textile Inst* 1968; 55: T45–T53.
7. Knapton JJF, Ahrens FI, Ingenthron WW, et al. The dimensional properties of knitted wool fabrics, part I: The plain knitted structure. *J Textile Inst* 1968; 38: 999–1012.
8. Knapton JJF, Truter EV and Aziz AKMA. Geometry, dimensional properties and stabilization of the cotton plain jersey structure. *J Textile Inst* 1975; 66: 413–419.
9. Ulson AA, Cabral LF and Souza MAG. Prediction of dimensional changes in circular knitted cotton fabrics. *Text Res J* 2010; 80(3): 236–252.
10. Saravana KT and Sampath VR. Prediction of dimensional properties of weft knitted cardigan fabric by artificial neural network system. *J Ind Text* 2012; 42(4): 446–458.
11. Mobarok AKM. Prediction of dimension and performance of finished cotton knitted fabric from knitting variables. *Ann Uni Oradea Text* 2012; 2: 99–103.
12. Eltahan EAE, Sultan M and Mito A. Determination of loop length, tightness factor and porosity of single jersey knitted fabric. *Alex Eng J* 2016; 55(2): 851–856.
13. Eltahan E. Effect of lycra percentages and loop length on the physical and mechanical properties of single jersey knitted fabrics. *J Compos* 2016; 1–7.
14. Sitotaw D and Adamu B. Tensile Properties of Single Jersey and 1x1 Rib Knitted Fabrics Made from 100% Cotton and Cotton/Lycra Yarns. *J Eng* 2017; 7.
15. Sitotaw D. Dimensional characteristics of knitted fabrics made from 100% cotton and cotton/elastane yarns. *J Eng* 2018; 5.
16. Llinares J, Miró P and Díaz P. Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, wales and courses per centimeter analysis. *J Textile Inst* 2020; 2020: 1–7.
17. Llinares J, Miró P and Díaz P. Determining the loop length during knitting and dyeing processes. *Text Res J* 2020; 1–12.
18. Lu Z and Jiang G. Rapid simulation of flat knitting loops based on the yarn texture and loop geometrical model. *Autex Res J* 2017; 17(2): 103–110.
19. Jiang G, Lu Z, Cong H, et al. Flat knitting loop deformation simulation based on interlacing point model. *Autex Res J* 2017; 17(4): 361–369.
20. Fouda A, El-Hadidy A and El-Deeb A. Mathematical modelling to predict the geometrical and physical properties of bleached cotton plain single jersey knitted fabrics. *J Text* 2015; 2015: 1–10.
21. Allan HS, Greenwood PF, Leah RD, et al. Prediction of finished weight and shrinkage of cotton knits - The Starfish Project. Part I: Introduction and general overview. *Text Res J* 1983; 53(2): 109–119.
22. Amreeva G and Kurbak A. Experimental studies on the dimensional properties of half Milano and Milano rib fabrics. *Textile Res* 2007; 77: 151–160.
23. Black DH. Shrinkage control for cotton and cotton blend knitted fabrics. *Textile Res J* 1974; 44: 606–611.
24. Doyle DJ. Fundamental aspects of the design of knitted fabrics. *J Textile Inst* 1953; 44: 561–578.
25. Fletcher HM and Roberts SH. The geometry of knit fabrics made of staple rayon and nylon and its relationship to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1952; 22(7): 466–471.
26. Fletcher HM and Roberts SH. The geometry of plain and rib knit cotton fabrics and its relation to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1952; 22(2): 84–88.
27. Fletcher HM and Roberts SH. Distortion in knit fabrics and its relation to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1953; 23(1): 37–42.
28. Fletcher HM and Roberts SH. The relationship of the geometry of plain knit cotton fabric to its dimensional change and elastic properties. Distortion in knit fabrics and its relation to shrinkage in laundering. *Text Res J* 1954; 24(8): 729–737.
29. Fletcher HM and Roberts SH. Dimensional stability and elastic properties of plain knit wool fabrics with and without Wurlan finish. *Text Res J* 1965; 35(11): 993–999.

30. Fletcher HM and Roberts SH. Elastic properties of plain and double knit cotton fabrics. *Text Res J* 1965; 35(6): 497–503.
31. Gravas E, Kiekens P and Langenhove L. An approach to the 'proKNIT' system and its value in the production of weft-knitted fabrics. *AUTEX Res J* 2005; 5(4): 220–227.
32. Kurbak A and Amreeva G. Creation of a geometrical model for Milano rib fabric. *Text Res J* 2006; 76(11), 847–852.
33. Nayak R, Kanesalingam S, Houshyar S, et al. Effect of repeated laundering and dry-cleaning on the thermo-physiological comfort properties of aramid fabrics. *Fiber Polym* 2016; 17(6): 954–962.
34. Poincloux S, Adda-Bedia M and Lechenault F. Geometry and elasticity of a knitted fabric. *Phys Rev X* 2018; 8(2): 1–14.
35. Moghassam AR and Valipour P. An extensive look into the effect of mercerization treatment on dimensional properties of cotton plain knitted fabric. *Fiber Polym* 2013; 14(2): 330–337.
36. Asif A, Rahman M and Farha FI. Effect of knitted structure on the properties of knitted fabric. *Int J Sci Res* 2015; 4(1): 1231–1235.
37. Dinh TD, Weeger O, Kajjima S, et al. Prediction of mechanical properties of knitted fabrics under tensile and shear loading: Mesoscale analysis using representative unit cells and its validation. *Compos B* 2018; 148: 81–92.
38. UNE-EN 14971. Determinación del número de puntadas por unidad de longitud y unidad de área. 2006, pp.7–8.
39. UNE-EN 12127. Determinación de la masa por unidad de superficie de muestras pequeñas. 1998.
40. UNE-EN 14970. Determinación de la longitud de hilo absorbido o consumido y de la masa lineal o título del hilo en los tejidos de punto por recogida, 2007, pp.7–8.

Bibliografía

- Amreeva, G y Kurbak, A (mar. de 2007). “Experimental Studies on the Dimensional Properties of Half Milano and Milano Rib Fabrics”. En: *Textile Research Journal - TEXT RES J* 77, págs. 151-160. DOI: 10.1177/0040517507079410.
- Black, DH (1974). “Shrinkage Control for Cotton and Cotton Blend Knitted Fabrics”. En: *Textile Research Journal* 44.8, págs. 606-611. DOI: 10.1177/004051757404400810. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051757404400810>.
- Chamberlain, J (1926). “Hosiery Yarns and Fabrics”. En: *Leicester College of Technology and Commerce, Leicester*, pág. 107.
- Eltahan, EAE (2016). “Effect of lycra percentages and loop length on the physical and mechanical properties of single jersey knitted fabrics”. En: *Journal of Composites* 2016.
- Eltahan, EAE, Sultan, M y Mito, AB (2016). “Determination of loop length, tightness factor and porosity of single jersey knitted fabric”. En: *Alexandria Engineering Journal* 55.2, págs. 851-856. ISSN: 1110-0168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.02.006>.
- Fatkic, E, Gersak, J y Ujevic, D (ene. de 2011). “Influence of Knitting Parameters on the Mechanical Properties of Plain Jersey Weft Knitted Fabrics”. En: *Fibres and Textiles in Eastern Europe* 88.

- Fletcher, HM y Roberts, SH (1952a). “The Geometry of Knit Fabrics Made of Staple Rayon and Nylon and Its Relationship to Shrinkage in Laundering”. En: *Textile Research Journal* 22.7, págs. 466-471. DOI: 10.1177/004051755202200703. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051755202200703>.
- (1952b). “The Geometry of Plain and Rib Knit Cotton Fabrics and Its Relation to Shrinkage in Laundering”. En: *Textile Research Journal* 22.2, págs. 84-88. DOI: 10.1177/004051755202200203. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051755202200203>.
- (1953). “Distortion in Knit Fabrics and Its Relation to Shrinkage in Laundering”. En: *Textile Research Journal* 23.1, págs. 37-42. DOI: 10.1177/004051755302300106. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051755302300106>.
- (1954). “The Relationship of the Geometry of Plain Knit Cotton Fabric to Its Dimensional Change and Elastic Properties”. En: *Textile Research Journal* 24.8, págs. 729-737. DOI: 10.1177/004051755402400806. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051755402400806>.
- (1965a). “Dimensional Stability and Elastic Properties of Plain Knit Wool Fabrics With and Without Wurlan Finish”. En: *Textile Research Journal* 35.11, págs. 993-999. DOI: 10.1177/004051756503501105. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051756503501105>.
- (1965b). “Elastic Properties of Plain and Double Knit Cotton Fabrics”. En: *Textile Research Journal* 35.6, págs. 497-503. DOI: 10.1177/004051756503500603. eprint: <https://doi.org/10.1177/004051756503500603>.
- Fouda, A, El-Hadidy, A y El-Deeb, A (2015). “Mathematical modeling to predict the geometrical and physical properties of bleached cotton plain single jersey knitted fabrics”. En: *Journal of Textiles* 2015.
- Gun, AD, Unal, C y Unal, B (2008). “Dimensional and physical properties of plain knitted fabrics made from 50/50 bamboo/cotton blended yarns”. En: *Fibers and Polymers* 9.5, pág. 588.
- Heap, AS y col. (1983). “Prediction of Finished Weight and Shrinkage of Cotton Knits”. En: *Textile Research Journal* 53.2, págs. 109-119.

- Hearle, J, Grosberg, P y Backer, S (1969). “Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics”. En: *Wiley-Interscience, New York*.
- Higgins, L y col. (2003). “Factors during tumble drying that influence dimensional stability and distortion of cotton knitted fabrics”. En: *International Journal of Clothing Science and Technology*.
- Knapton, JJF, Ahrens, FJ y al., WI et (1968a). “The dimensional properties of knitted wool fabrics- Part I: The plain knitted structure.” En: *Textile Research Journal* 38, págs. 999-1012.
- (1968b). “The dimensional properties of knitted wool fabrics- Part II: 1x1, 2x2 rib and half cardigan structure.” En: *Textile Research Journal* 38, págs. 1013-1026.
- Kumar, TS y Sampath, V (2013). “Prediction of dimensional properties of weft knitted cardigan fabric by artificial neural network system”. En: *Journal of Industrial Textiles* 42.4, págs. 446-458.
- Kumar, V y Sampath, V (2013). “Investigation on the physical and dimensional properties of single jersey fabrics made from cotton sheath-elastomeric core spun”. En: *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 3 (99), págs. 73-75.
- Kurbak, A y Amreeva, G (2006). “Creation of a Geometrical Model for Milano Rib Fabric”. En: *Textile Research Journal* 76.11, págs. 847-852. DOI: 10.1177/0040517507071968. eprint: <https://doi.org/10.1177/0040517507071968>.
- Llinares Berenguer, J, Miró i Martínez, P y Díaz-García, P (2020). “Modelling loop length in weft-knitted fabrics with an interlock structure after the dyeing process with a stitch density, Wales and courses per centimetre analysis”. En: *The Journal of The Textile Institute*, págs. 1-7.
- Marmarali, AB (2003). “Dimensional and physical properties of cotton/spandex single jersey fabrics”. En: *Textile research journal* 73.1, págs. 11-14.
- Mikučionienė, D, Čiukas, R y Mickevičienė, A (2010). “The influence of knitting structure on mechanical properties of weft knitted fabrics”. En: *Materials Science (Medžiagotyra)* 16.3, págs. 221-225.

- Mikučionienė, D y Laureckienė, G (2009). “The influence of drying conditions on dimensional stability of cotton weft knitted fabrics”. En: *Materials science* 15.1, págs. 64-68.
- Mobarok Hossain, A (2012). “Prediction of dimension and performance of finished cotton knitted fabric from knitting variables”. En: *Annals of the University of Oradea: fascicle of Textiles 2*, págs. 99-103.
- Moghassem, A (mar. de 2013). “An Extensive Look into the Effect of Mercerization Treatment on Dimensional Properties of Cotton Plain Knitted Fabric”. En: *Fibers and Polymers* 14. DOI: 10.1007/s12221-013-0330-1.
- Morton, WE y Hearle, J (1993). “Properties of Textile Fibres, Third Edition”. En: *The Textile Institute Manchester, Manchester*.
- Munden, DL (1959). “The geometry and dimensional properties of plain-knit fabrics”. En: *Journal of the Textile Institute Transactions* 50.7, T448-T471. DOI: 10.1080/19447025908659923.
- (1960). “The Dimensional Behaviour of Knitted Fabrics”. En: *Journal of the Textile Institute* 51, págs. 200-209.
- Ndlovu, LN y col. (2015). “Physical properties of plain single jersey-knitted fabrics made from blended and core-spun polysulfonamide/cotton yarns”. En: *Textile Research Journal* 85.3, págs. 262-271.
- Peirce, F (1937). “The Geometry of cloth Structure”. En: *Journal of the Textile Institute Transactions* 28.3, T45-T96. DOI: 10.1080/19447023708658809.
- (1947). “Geometrical Principles Applicable to the Design of Functional Fabrics”. En: *Textile Research Journal* 17.3, págs. 123-147. DOI: 10.1177/004051754701700301.
- Sitotaw, DB (2018). “Dimensional Characteristics of Knitted Fabrics Made from 100% Cotton and Cotton/Elastane Yarns”. En: *The Journal of Engineering* 2018, págs. 1-9.

Sitotaw, DB y Adamu, BF (2017). “Tensile properties of single jersey and 1×1 rib knitted fabrics made from 100 % cotton and cotton/lycra yarns”. En: *Journal of Engineering* 2017.

Souza, AAU de, Cherem, LFC y Souza, SMAGU (2010). “Prediction of Dimensional Changes in Circular Knitted Cotton Fabrics”. En: *Textile Research Journal* 80.3, págs. 236-252. DOI: 10.1177/0040517509105598. eprint: <https://doi.org/10.1177/0040517509105598>.

