

Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector textil



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL
DE CALIDAD
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector textil



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA GENERAL
PARA LA PREVENCIÓN
DE LA CONTAMINACIÓN
Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

DIRECCIÓN GENERAL
DE CALIDAD
Y EVALUACIÓN AMBIENTAL

2004

EQUIPO DE TRABAJO Y REDACCIÓN

Directora del equipo	Carmen Canales Canales	Ministerio de Medio Ambiente
Coordinadores técnicos	Jordi Rius Sant	Institut Cerdá
	Alfredo Vara Blanco	CEMA, SA
Colaboradores	Albert Avellaneda Bargués	Generalitat de Catalunya
	Joaquín Niclós Ferragut	Generalitat Valenciana
	Esther Monfá Obach	CEMA, SA
	Ramón Serra Fabregó	CEMA, SA
	Óscar Jiménez Pérez	Institut Cerdá
	José María Canal Arias	Universitat Politècnica de Catalunya
	Óscar González Sánchez	TRAGSA
	Sonia Silva Segovia	TRAGSA
	Luis Alier Uriach	Consejo Intertextil Español
	Begoña Picó Monllor	AITEX
Antonio Serna Revert	ATEVAL	

Fotografía Portada PEINAJE DEL RÍO LLOBREGAT, SA

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Medio Ambiente ©

I.S.B.N.: 84-8320-282-4
NIPO: 310-04-057-X
Depósito legal: M-49.177-2004
Imprime: Solana e Hijos A.G., S.A.

Impreso en papel reciclado

PRESENTACIÓN

El Sexto Programa de Acción Comunitaria en Materia de Medio Ambiente, adoptado en julio de 2002, confirma que la aplicación y el cumplimiento más efectivos de la legislación comunitaria en materia de medio ambiente constituyen una prioridad.

Sigue por tanto, surgiendo la necesidad de dotarnos de herramientas que, partiendo del respeto al medio ambiente, concluyan el proceso de interpretación entre éste y el crecimiento económico, es decir, de crear instrumentos que pongan en práctica el Desarrollo Sostenible.

En nuestro caso, los principales instrumentos integradores dirigidos a los sectores industriales y a las Autoridades Competentes, cuyos ejes más importantes son fundamentalmente la concesión de la Autorización Ambiental Integrada (AAI) y el concepto de Mejor Técnica Disponible, son la Ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación y los documentos de Mejores Técnicas Disponibles, tanto europeos –documentos BREF- como las Guías de Mejores Técnicas Disponibles en España de diversos sectores industriales.

El sistema de permisos tiene como meta garantizar que los titulares de las instalaciones adopten medidas de prevención de la contaminación, en especial mediante la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles, que no se produzca ninguna contaminación importante, que los residuos inevitables se recuperen o se eliminen de manera segura, que se utilice la energía de manera eficaz, que se tomen medidas para prevenir los accidentes y, en el caso que se produzcan, limitar sus consecuencias y que el lugar de la explotación vuelva a quedar en un estado satisfactorio tras el cese de las actividades.

Teniendo en cuenta este enfoque integrador y para ayudar a las autoridades competentes en la tarea de conceder la AAI y especificar los límites de emisión de las distintas sustancias, a los diferentes medios, que deben estar basados necesariamente en las Mejores Técnicas Disponibles, el Ministerio de Medio Ambiente, siguiendo con la continuación de la serie que inició en el 2003, publica esta **Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Textil**.

Es importante señalar y destacar la estrecha colaboración que todo el sector ha tenido en la elaboración de esta Guía y el interés mostrado en la innovación tecnológica y la mejora de procesos con el objetivo de incluir metodologías de mejora ambiental continua en su estrategia empresarial, permitiéndoles, si cabe, estar en condiciones favorables de cumplimiento legislativo siendo competitivos.

Por último me gustaría destacar que los documentos de MTD en España están facilitando el paso de una nueva forma de compromiso de mejora del medio ambiente y desear que, de las ideas expuestas en la Guía y del diálogo común, surjan nuevas iniciativas que puedan redundar en beneficio y mejora del medio ambiente.

*Jaime Alejandro Martínez
Director General de Calidad y Evaluación Ambiental
Ministerio de Medio Ambiente*

ÍNDICE

	Página
1. ANÁLISIS DEL SECTOR TEXTIL EN EUROPA Y ESPAÑA	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Lavado de lana.....	15
1.3 Acabados.....	16
1.4 Principales impactos medioambientales del sector textil	16
2. PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADAS.....	18
2.1 Materias primas.....	19
2.1.1 Fibras	19
2.1.2 Productos químicos y auxiliares	19
2.1.3 Gestión de materiales y almacenaje	19
2.2 Fabricación de la fibra: fibras químicas	20
2.3 Preparación de la fibra: fibras naturales	21
2.3.1 Lana	21
2.3.1.1 El desgrasado de la lana	21
2.3.1.2 Aspectos medioambientales	21
2.3.2 Algodón y lino	22
2.4 Fabricación de hilo	22
2.4.1 Peinado.....	22
2.4.2 Hilado de la lana	22
2.4.3 Hilado del algodón	23
2.4.4 Aspectos medioambientales.....	23
2.5 Producción de tejido	23
2.5.1 Tejido de calada.....	23
2.5.1.1 Urdido	23
2.5.1.2 Encolado	23
2.5.1.3 Tisaje	24
2.5.2 Tejido de punto	24
2.5.2.1 Encerado	24
2.5.2.2 Fabricación de tejido de punto.....	24
2.5.3 Alfombras y moquetas	24
2.5.3.1 Alfombra «Tufted»	25
2.5.3.2 Alfombra de punto de cruz.....	25
2.5.3.3 Alfombra tejida.....	25
2.5.4 No-tejidos (non-woven textiles).....	25
2.5.5 Aspectos medioambientales.....	26
2.6 Pretratamiento.....	26
2.6.1 Pretratamiento del algodón y las fibras de celulosa	26
2.6.1.1 Principales procesos.....	26

2.6.1.2 Aspectos medioambientales	27
2.6.2 Pretratamiento de la lana para tintura	28
2.6.2.1 Principales procesos de tratamiento	28
2.6.2.2 Aspectos medioambientales	29
2.6.3 Pretratamiento de la seda.....	29
2.6.3.1 Principales procesos.....	29
2.6.3.2 Aspectos medioambientales	30
2.6.4 Pretratamiento del material sintético.....	30
2.6.4.1 Principales procesos de tratamiento.....	30
2.6.4.2 Aspectos medioambientales	31
2.7 Tintura.....	31
2.7.1 Principios generales de la tintura	31
2.7.2 Procesos de tintura	31
2.7.2.1 Tintura discontinua	31
2.7.2.2 Tintura continua y semicontinua.....	32
2.7.3 Tintura de las fibras de celulosa.....	33
2.7.3.1 Colorantes reactivos.....	33
2.7.3.2 Colorantes directos	33
2.7.3.3 Colorantes tina.....	33
2.7.3.4 Colorantes sulfurosos.....	33
2.7.3.5 Colorantes azoicos	33
2.7.4 Tintura de la lana	34
2.7.4.1 Colorantes ácidos.....	34
2.7.4.2 Colorantes con cromo	34
2.7.4.3 Colorantes premetalizados	34
2.7.4.4 Colorantes reactivos.....	34
2.7.5 Tintura de la seda.....	34
2.7.6 Tintura de fibras sintéticas y de polímero natural	34
2.7.6.1 Fibras de poliamida.....	34
2.7.6.2 Fibras de poliéster.....	35
2.7.6.3 Fibras acrílicas.....	35
2.7.6.4 Acetato de celulosa (CA) y triacetato de celulosa (CT)	35
2.7.7 Tintura de mezcla de fibras	36
2.7.7.1 Mezcla de poliéster y celulosa.....	36
2.7.7.2 Mezcla de poliéster y lana.....	36
2.7.7.3 Mezcla de poliamida y celulosa.....	37
2.7.7.4 Mezcla de poliamida y lana.....	37
2.7.7.5 Mezcla de acrílico y celulosa.....	37
2.7.7.6 Mezcla de acrílico y lana.....	37
2.7.8 Aspectos medioambientales.....	38
2.7.8.1 Aspectos medioambientales relacionados con las sustancias utilizadas.....	38
2.7.8.2 Aspectos ambientales relacionados con el proceso de tintura	41
2.8 Estampación.....	41
2.8.1 Procesos de estampación	41
2.8.1.1 Estampación con pigmentos	41
2.8.1.2 Estampación con colorantes solubles.....	42
2.8.2 Tecnología de estampación	43
2.8.2.1 Estampadora de cuadro plano.....	43
2.8.2.2 Estampadora rotativa	43
2.8.2.3 Estampadora jet	43
2.8.3 Aspectos medioambientales.....	43
2.8.3.1 Residuos de pasta de estampación	43
2.8.3.2 Aguas residuales de las operaciones de lavado y limpieza.....	44
2.8.3.3 Componentes orgánicos volátiles del secado y la fijación.....	44
2.9 Acabado y aprestos.....	45

2.9.1	Procesos de acabado y aprestos	45
2.9.2	Tratamientos de apresto.....	45
2.9.2.1	Apresto de fácil cuidado.....	45
2.9.2.2	Apresto hidrófobo (repelente al agua).....	45
2.9.2.3	Apresto suavizante.....	45
2.9.2.4	Apresto ignífugo	45
2.9.2.5	Apresto antiestático.....	46
2.9.2.6	Apresto antipolilla	46
2.9.2.7	Apresto bactericida y fungicida.....	46
2.9.2.8	Apresto inencogible para la lana.....	46
2.9.3	Aspectos medioambientales.....	47
2.9.3.1	Aspectos medioambientales asociados a los procesos de apresto continuo.....	47
2.9.3.2	Aspectos medioambientales asociados a los procesos de apresto discontinuo	47
2.10	Revestimiento y laminado	47
2.10.1	Procesos de recubrimiento y laminado.....	47
2.10.2	Aspectos medioambientales.....	48
2.10.2.1	Agentes de recubrimiento en polvo.....	48
2.10.2.2	Agentes de recubrimiento en pasta	48
2.10.2.3	Dispersiones de polímeros (formulaciones acuosas).....	48
2.10.2.4	Resinas de melamina.....	49
2.10.2.5	Dispersiones de polímero (formulaciones basadas en solventes orgánicos).....	49
2.11	Recubrimiento interior de alfombras	49
2.11.1	Prerrecubrimiento	49
2.11.2	Recubrimiento espumoso de estireno-butadieno (SBR)	49
2.11.3	Recubrimiento espumoso de poliuretano (PU)	49
2.11.4	Recubrimiento interior textil.....	50
2.11.5	Recubrimiento grueso	50
2.11.6	Aspectos medioambientales.....	50
2.12	Lavado.....	50
2.12.1	Lavado con agua.....	50
2.12.2	Limpieza en seco.....	50
2.12.3	Aspectos medioambientales.....	51
2.13	Secado.....	51
2.13.1	Secado de fibra en floca	51
2.13.2	Secado de madejas	51
2.13.3	Secado de hilo bobinado.....	51
2.13.4	Secado del tejido	52
2.13.4.1	Hidroextracción por contacto directo.....	52
2.13.4.2	Hidroextracción por succión.....	52
2.13.4.3	Hidroextracción por centrifugación	52
2.13.4.4	Secado en rame.....	52
2.13.4.5	Secado en hot-flue	52
2.13.4.6	Secador de contacto	52
2.13.4.7	Banda transportada	52
2.13.4.8	Tumbler.....	53
2.13.5	Aspectos medioambientales.....	53
2.14	Comparativa de las técnicas utilizadas en España y en el resto de Europa	53
3.	NIVELES ACTUALES DE EMISIONES, Y CONSUMO DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS	54
3.1	Desgrasado de la lana	54

3.1.1	Limpieza y lavado con agua	55
3.1.1.1	Consumo de agua.....	56
3.1.1.2	Recuperación de la grasa.....	57
3.1.1.3	Utilización de reactivos.....	57
3.1.1.4	Consumo de energía.....	58
3.1.1.5	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	59
3.1.1.6	Generación de lodos.....	59
3.1.1.7	Pesticidas.....	59
3.1.2	Lavado con disolvente.....	62
3.2	Industria de acabado del textil	63
3.2.1	Acabados de hilados y/o en floca.....	63
3.2.1.1	Acabados en floca.....	63
3.2.1.2	Acabados de mechas/floca e hilados de lana.....	64
3.2.1.3	Acabados de hilados de algodón.....	65
3.2.1.4	Acabados de hilados de poliéster.....	66
3.2.1.5	Acabados de hilados: principalmente lana, acrílico y/o viscosa	67
3.2.1.6	Análisis de algunos procesos específicos relevantes de las fábricas de acabado de hilados y/o flocados.....	68
3.2.2	Acabados de tejido de punto.....	70
3.2.2.1	Acabados de tejido de punto de algodón.....	70
3.2.2.2	Estampación en tejidos de punto de algodón acabado	71
3.2.2.3	Acabados de tejidos de punto de fibras sintéticas.....	71
3.2.2.4	Acabados de tejidos de punto de lana	72
3.2.2.5	Análisis de algunos procesos relevantes de las fábricas de acabados de tejidos de punto....	73
3.2.3	Acabados de tejido de calada.....	75
3.2.3.1	Acabados de tejido de calada de algodón y viscosa	75
3.2.3.2	Acabados de tejido de algodón y viscosa, y posterior estampación.....	78
3.2.3.3	Acabados de tejido de lana.....	79
3.2.3.4	Acabado de tejido de fibras sintéticas	80
3.2.3.5	Análisis de algunos procesos específicamente relevantes de las fábricas de acabado de tejido	81
3.3	Industria de las alfombras.....	86
3.3.1	Tintorerías de hilo de lana y mezclas para alfombras.....	86
3.3.1.1	Tintorerías de fibra suelta para alfombras	87
3.3.1.2	Tintorerías de hilo para alfombras	88
4.	MTD EN ESPAÑA Y VALORES DE EMISIÓN ASOCIADOS.....	91
4.1	Buenas prácticas ambientales y de gestión.....	91
4.2	Sustitución de lubricantes y colas en los procesos de preparación de fibras y tejeduría.....	93
4.2.1	Sustitución de los aceites minerales como lubricantes	93
4.2.1.1	Lubricantes para la preparación de las fibras sintéticas.....	93
4.2.1.2	Lubricantes para la hilatura de la lana.....	93
4.2.1.3	Lubricantes para la fabricación del tejido.....	94
4.2.2	Colas de aplicación a los hilos de urdimbre.....	94
4.2.2.1	Sustitución de las colas	94
4.2.2.2	Reducción del uso de colas por prehumectación	95
4.2.2.3	Mínimización de colas por hilatura compacta	95
4.2.3	Reducción de los insecticidas y pesticidas contenidos en las materias primas	95
4.3	Sustitución de reactivos	96
4.3.1	Sustitución de los tensioactivos con baja biodegradabilidad y alta toxicidad.....	96
4.3.2	Sustitución de los complejantes compuestos por nitrógeno y/o fósforo	96
4.3.3	Selección de agentes antiespumantes ambientalmente correctos	97

4.4	Lavado de la lana.....	98
4.4.1	Sistemas de recuperación de la grasa de la lana.....	98
4.4.2	Sistemas de minimización del consumo energético	98
4.5	Pretratamiento.....	99
4.5.1	Recuperación de los agentes de encolado por ultrafiltración	99
4.5.2	Aplicación de la ruta oxidativa para la eliminación de los agentes de encolado	99
4.5.3	Desencolado, descrudado y blanqueo en un único paso. Flash Steam y Pad Batch	100
4.5.4	Sustitución de los compuestos con cloro en el blanqueo	100
4.5.5	Minimización del consumo de agentes complejantes en el blanqueo con peróxido de hidrógeno	101
4.5.6	Descrudado enzimático	101
4.5.7	Recuperación del álcali del mercerizado	102
4.6	Tintura.....	102
4.6.1	Tintura.....	102
4.6.1.1	Tintura por agotamiento de las fibras de poliéster y sus mezclas, sin carriers, o con carriers alternativos.....	103
4.6.1.2	Utilización de dispersantes bioeliminables en las formulaciones del baño de tintura	103
4.6.1.3	Tintura continua con colorante tina en un solo paso	104
4.6.1.4	Tratamientos posteriores a la tintura de poliéster	104
4.6.2	Tintura con colorantes sulfurosos con bajo contenido en sulfuro	105
4.6.3	Minimización de las pérdidas del baño de tintura en el proceso Fulard	105
4.6.4	Tintura con colorantes reactivos	106
4.6.4.1	Tintura por agotamiento de fibras de celulosa con alta fijación de colorantes reactivos polifuncionales.....	106
4.6.4.2	Tratamiento posterior con enzimas en la tintura	107
4.6.4.3	Eliminación del empleo de detergentes en los lavados posteriores a la tintura de los tejidos de algodón	107
4.6.4.4	Proceso Econtrol®, alternativo de la tintura continua y semicontinua convencional de los tejidos de celulosa con colorantes reactivos.....	107
4.6.5	Colorantes con cromo.....	108
4.6.5.1	Método de tintura de lana por cromatado posterior ultrabajo en cromo.....	108
4.6.5.2	Tintura de lana sin cromo.....	108
4.6.5.3	Reducción de las emisiones en la tintura de la lana con colorantes premetalizados	109
4.6.6	Uso de liposomas como auxiliares en la tintura de lana	110
4.6.7	Optimización de maquinaria.....	110
4.6.7.1	Optimización de los equipos en los baños de tintura	110
4.6.7.2	Optimización de la tintura en barca torniquete	111
4.6.7.3	Optimización de la tintura en jet.....	112
4.6.8	Recirculación del agua en los procesos discontinuos	113
4.6.9	Tintura por agotamiento con tintes reactivos, con baja aplicación de sales, para las fibras de celulosa	113
4.6.10	Eliminación del uso de detergentes en el lavado posterior de la tintura del algodón con tintes reactivos	114
4.7	Estampación.....	114
4.7.1	Sustitución de la urea en estampación con reactivos	114
4.7.2	Estampación con pigmentos en pastas ambientalmente más correctas.....	115
4.7.3	Recuperación de la pasta de estampación desde el sistema de suministro en la estampación con cilindros microperforados	115
4.7.4	Minimización del volumen de pasta de estampación suministrada en la estampación con cilindros microperforados	116
4.7.5	Reciclaje de las pastas de estampación residuales.....	116
4.7.6	Reducción del consumo de agua en operaciones de limpieza.....	117
4.7.7	Estampación digital.....	117
4.8	Aprestos y Acabados.....	118

4.8.1	Minimización del consumo de energía en la rame	118
4.8.2	Apresto de fácil cuidado exento o bajo en formaldehído.....	118
4.8.3	Minimización de los agentes suavizantes en los procesos Batch	118
4.8.4	Minimización de las emisiones generadas por la aplicación de productos insecticidas.....	119
4.9	Lavado	119
4.9.1	Optimización del uso de agua y de energía en los procesos de lavado y aclarado discontinuos.....	119
4.9.2	Conservación del agua y la energía en el lavado y aclarado continuo.....	120
4.10	Técnicas de tratamiento de las corrientes residuales generadas	121
4.10.1	Tratamiento de las aguas residuales	121
4.10.1.1	Tratamiento en plantas de fangos activados de carga reducida.....	121
4.10.1.2	Tratamiento combinado Biológico, Químico y Físico.....	121
4.10.1.3	Tratamiento con técnicas de membrana	122
4.10.1.4	Tratamiento anaeróbico de las pastas de estampación y de los baños de tintura.....	122
4.10.1.5	Tratamiento de determinados efluentes no biodegradables con oxidación química.....	123
4.10.1.6	Tratamiento mediante floculación/precipitación.....	123
4.10.2	Tratamiento de las emisiones a la atmósfera	123
4.10.3	Gestión de fangos.....	124
4.11	Valores de emisión asociados a MTD	125
5.	SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL	129
5.1	Vertidos al agua	129
5.1.1	Introducción.....	129
5.1.2	Legislación	129
5.1.2.1	Vertidos a aguas continentales.....	130
5.1.2.2	Vertidos a aguas marinas	131
5.1.2.3	Vertido a sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	131
5.1.3	Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER)	132
5.1.4	Aspectos básicos de la medición y control de los vertidos en las industrias del sector textil.....	134
5.1.4.1	Identificación de parámetros a tener en cuenta para una correcta toma de muestras	134
5.1.4.2	Tipología de sistemas de medición	136
5.1.5	Tipología de los sistemas de medición y control de los vertidos emitidos por la industria textil	136
5.2	Emisiones a la atmósfera	137
5.2.1	Introducción.....	137
5.2.2	Legislación básica.....	138
5.2.3	Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER)	141
5.2.4	Aspectos básicos de la medición y control de las emisiones a la atmósfera de la industria textil	141
5.2.4.1	Identificación de los parámetros críticos	141
5.2.4.2	Métodos de medición, cálculo y estimación de los contaminantes	142
5.2.5	Tipología de los sistemas de medición y control de las emisiones a la atmósfera de la industria textil.....	144
5.3	Existencia de acuerdos para la prevención de la contaminación	145
6.	TÉCNICAS EMERGENTES Y TÉCNICAS OBSOLETAS	146
6.1	Introducción.....	146
6.1.1	Hilatura.....	146
6.1.2	Tejido	146

6.1.3	Acabado.....	147
6.1.4	Género de punto.....	148
6.2	Técnicas emergentes	148
6.2.1	Catálisis por enzimas en los procesos de acabado.....	149
6.2.2	Tecnología plasma	149
6.2.3	Tratamiento de rayos catódicos.....	150
6.2.4	Utilización de CO ₂ supercrítico en procesos de tintura	150
6.2.5	Tratamiento ultrasónico.....	151
6.2.6	Tintura electroquímica	151
6.2.7	Auxiliares alternativos.....	151
6.2.7.1	Agentes complejantes	151
6.2.7.2	Agentes reticulantes	151
6.2.7.3	Biopolímeros	151
6.2.8	Lógica difusa (fuzzy logic).....	152
6.2.9	Monitorización <i>on-line</i>	152
6.2.10	Procesos de oxidación avanzada.....	152
6.2.11	Reutilización de las aguas residuales urbanas.....	153
6.3	Técnicas Obsoletas.....	153
7.	ANEXOS	154
7.1	Anexo I: Diagramas de flujo.....	154
7.2	Anexo II: Técnicas y tecnologías usadas en los procesos mojados	161
7.2.1	Procesos Discontinuos.....	161
7.2.1.1	Autoclave	161
7.2.1.2	Armario.....	161
7.2.2	Procesos continuos.....	161
7.2.2.1	Barca Torniquete	161
7.2.2.2	Jet	161
7.2.2.3	Overflow	161
7.2.2.4	Soft-flow	162
7.2.2.5	Airflow.....	162
7.2.2.6	Beam.....	162
7.2.2.7	Jigger	162
7.2.2.8	Foulard.....	162
7.2.2.9	Pad-batch	162
7.2.2.10	Pad-roll.....	162
7.2.2.11	Pad-jig.....	163
7.2.2.12	Pad-steam	163
7.2.2.13	Pad-dry.....	163
7.2.2.14	Proceso Thermosol.....	163
7.3	Anexo III: Glosario.....	164

1. ANÁLISIS DEL SECTOR TEXTIL EN EUROPA Y ESPAÑA

1.1 Introducción

La industria textil es uno de los sectores más antiguos y complejos dentro de las industrias manufactureras. Su complejidad reside en el hecho de que se trata de un sector muy fragmentado y heterogéneo, y formado principalmente por pequeñas y medianas empresas, algunas de ellas muy especializadas en procesos concretos.

Tanto el sector textil como el de la confección están compuestos por un gran número de subsectores que cubren todo el ciclo productivo, desde la producción de materias primas y productos intermedios, hasta la elaboración de los productos finales.

Uno de los factores a los que se debe la complejidad del sector textil es la gran cantidad de materias primas que se utilizan en la preparación de las fibras (algodón, lana, seda, lino, materiales sintéticos, etc.), así como la diversidad de procesos de producción existentes para su manipulación. Así, dentro del sector textil se pueden establecer los siguientes subsectores:

- Hilo y fibra
- Tejido
- Acabado de tejido
- Productos de menaje
- Tejidos industriales y otros
- Material de punto y complementos.

Los datos macroeconómicos del sector correspondientes a los Estados miembros de la Unión Europea, referidos al año 2002, establecen, según el Consejo Intertextil Español, una facturación de 186.400 millones de euros y empleo para 2.012.500 trabajadores, siendo el subsector de la confección (prendas de vestir) el que genera más empleo.

La actividad textil en Europa se concentra fundamentalmente en cinco países: Italia, Alemania, Reino Unido, Francia y España. Estos países abarcan el 80 % de la industria textil comunitaria, y alcanzan una facturación de 149.120 millones de euros.

En lo que se refiere a España, la industria textil está compuesta principalmente por PYMES, generalmente de origen familiar y de capital nacional.

Si bien es cierto que la industria textil se encuentra distribuida por todo el territorio nacional, hay que hacer referencia a la concentración de actividad en el litoral mediterráneo, principalmente en Cataluña y la Comunidad Valenciana. No obstante, cabe destacar el reciente desarrollo del sector en otras comunidades autónomas como son Castilla La Mancha, Andalucía y Galicia.

Al igual que en el ámbito europeo, el sector textil español, en general, se encuentra en un periodo de transición, en el que determinados subsectores industriales han desplazado sus actividades a otras zonas geográficas en busca, principalmente, de una reducción de costes, así como, en ocasiones, de una mayor permisividad legislativa. Los países que se han incorporado en mayor medida al mercado son China, India y Pakistán, así como países del este de Europa.

Año 2000	Textil %	Confección %	Total %
Italia	29,7	30,8	30,1
Alemania	14,4	13,1	13,8
Reino Unido	12,5	14,3	13,4
Francia	13,1	13	12,9
España	8,4	11,4	9,6
Portugal	6,1	7,9	6,9
Bélgica	5,6	2,2	4,2
Grecia	2,1	2,5	2,3
Austria	2,8	1,2	2,1
Holanda	2	0,8	1,5
Dinamarca	1	1,1	1,1
Finlandia	0,8	1	0,9
Irlanda	0,7	0,5	0,6
Suecia	0,8	0,2	0,6
Luxemburgo	---	---	---
Unión Europea	100	100	100

Tabla 1.1. Producción textil de los miembros de la Unión Europea (EURATEX, 2002)

El siguiente cuadro muestra la evolución irregular del sector entre 1995 y 2001:

año	Empleo × 1.000 pers	Producción × 1.000 t	Capacidad productiva %	Número de instalaciones	Volumen de negocio en mill.
1995	275,3	472	82,4	8.088	13.478
1996	267,5	474	79,6	7.763	12.982
1997	272	495	82,5	7.715	13.585
1998	274,2	496	82,5	7.713	14.001
1999	274,9	488	78,7	7.690	13.880
2000	276,9	510	82,5	7.680	14.275
2001	274,8	486	81,3	7.630	14.201

Tabla 1.2. Producción nacional del sector textil, 1995-2001 (Consejo Intertextil Español, 2003)

En la tabla anterior se pueden observar los datos correspondientes a la actividad del sector textil entre los años 1995 y 2001, en la que se aprecia una ligera reducción del número de instalaciones, pero, en cambio, un aumento del volumen de negocio y de la producción.

También puede observarse que la crisis económica generalizada del año 2001, que causó un impacto negativo sobre los mercados tanto interiores como exteriores, dio lugar a un ligero descenso de la facturación y de la producción en el sector textil.

Con el fin de dinamizar el mercado nacional se están llevando a cabo una serie de acciones que, hasta el momento, han permitido su apertura hacia el exterior, dando lugar a un importante aumento de las exportaciones. Así, se ha pasado de exportar un 10 % de la producción nacional al 52 % actual, con un volumen de exportación en el año 2001 de 1.320 millones de euros. Las estrategias planteadas son, entre otras, las siguientes:

- Mejoras en el nivel medio del producto nacional mediante mejoras en el diseño y la calidad, y el abandono de la producción de nivel bajo
- Incremento de la inversión en tecnología, que permite la equiparación del nivel del producto español con el europeo
- Incremento de la eficiencia de la estructura, los procesos y las instalaciones de las empresas
- Mejora de las estrategias de marketing.

A causa de la diversidad de subsectores existentes en la industria textil, debe hacerse una breve referencia a dos subsectores considerados, a nivel europeo, como los más representativos desde un punto de vista medioambiental. Estos son:

- Lavado de lana
- Acabados.

1.2 Lavado de lana

A nivel europeo, el subsector de la lana se articula en dos sistemas productivos diferentes: cardado y peinado. En ambos sistemas, la lana debe someterse a diferentes procesos de limpieza:

- En el sistema de cardado, por lo general sólo se limpia la lana mecánicamente, con el objetivo de poder mezclarla antes de entregarla al cliente
- En el sistema de peinado se incluye el lavado, el cardado y el peinado de la lana, y el producto resultante se denomina *top*. Este producto se utiliza para la fabricación de alfombras y moquetas.

En Europa, gran parte de la lana procede del esquilado de animales y de los mataderos; las actividades de lavado, cardado y peinado de lana se realizan habitualmente mediante agrupaciones o asociaciones constituidas por los propios productores. No obstante, en algunos países como el Reino Unido o Italia, estas actividades son realizadas también por empresas privadas.

En la siguiente tabla se muestran los datos referentes a la producción y limpieza de lana en los Estados Miembros:

Estados miembros	Total lana lavada (*)
Bélgica	3,8
Francia	65,4
Alemania	43,4
Italia	76,0
Portugal	5,3
España	26,2
Reino Unido	79,6
Total	299,7

(*) unidades miles toneladas/año

Tabla 1.3. Producción del lavado de lana en Europa (INTERLAINE, 1999)

Como se puede comprobar, en cuanto al lavado de la lana, el 90 % de la producción se concentra en cuatro países (Francia, Italia, Alemania y Reino Unido), mientras que España constituye el quinto productor europeo con 26.200 t/año.

Durante el periodo entre 1993-1997, la producción total en la Unión Europea se fue reduciendo paulatinamente, llegando a una disminución de hasta el 10 %. En la actualidad, esta situación, según el Consejo Intertextil Español, parece que se va recuperando, y la producción se ha incrementado en un 2 % del año 2001 al 2002.

Esta disminución en la producción se materializó sobre todo en el norte de Europa, debido, entre otras razones, a los costes derivados de las actuaciones medioambientales requeridas por la implantación de nuevas normativas. En algunos casos, esta situación llegó a provocar el cierre de algunas actividades. Actualmente, esta situación se encuentra estabilizada y el sector se ha ido adecuando, poco a poco, a los requisitos ambientales.

1.3 Acabados

El acabado textil tiene por objeto aportar al tejido las propiedades visuales, estéticas y físicas necesarias para su uso. Los procesos principales son: blanqueo, tintura, estampación, cortado y diversos tipos de acabados.

Habitualmente, los procesos de acabado textil se combinan con procesos de manufactura, los cuales confieren al producto final sus características particulares.

Existen numerosos procesos de acabado en función del tipo de tejido que tratar, diferenciando entre prendas de vestir, tejidos del hogar y tejidos de tipo técnico o industrial. Así, se pueden distinguir entre:

- Tintura de hilo
- Tintura de tejido
- Estampación
- Procesos integrados, incorporando hilado o trenzado, más el acabado.

A nivel europeo, el volumen de negocio del sector del acabado fue en el año 2000, y según EURATEX, de 11.000 millones de euros, proporcionando 117.000 puestos de trabajo. Italia es el país europeo con mayor producción, con cerca de 36.000 t, seguido de Alemania y Francia, con 14.000 y 13.000 t respectivamente. La producción de España, en quinto lugar, fue de unas 9.000 t.

En España, la mayoría de la actividad de acabados se ubica en el litoral mediterráneo, en concreto, en Cataluña y la Comunidad Valenciana.

1.4 Principales impactos medioambientales del sector textil

Los principales impactos medioambientales generados en la industria textil son los siguientes:

- Emisiones atmosféricas
- Consumo de agua y generación de aguas residuales
- Generación de residuos
- Consumo de energía.

De todos ellos, posiblemente el que genera una mayor incidencia ambiental sobre el medio es el consumo de agua y generación de aguas residuales, dado que son numerosos los procesos que requieren importantes consumos de agua, así como los que pueden generar efluentes con elevadas cargas contaminantes, principalmente los procesos de limpieza del producto.

En lo que se refiere a la incidencia ambiental generada sobre el medio atmosférico, se pueden destacar los focos derivados de los procesos de combustión, así como los procesos en los que se utilizan disolventes.

En cuanto a la generación de residuos, cabe destacar la generación de los envases de materias primas y reactivos, las mermas generadas en los diferentes procesos, residuos de limpieza, lodos de depuradora, lodos de baños etc.

Por último, cabe mencionar el impacto generado por el elevado consumo de energía, debido principalmente a la necesidad de generar calor en muchos de los procesos, principalmente baños y procesos de secado y de polimerización.

2. PROCESOS Y TÉCNICAS APLICADAS

Los procesos básicos en la cadena de la industria textil son, de manera esquemática, los descritos en la figura siguiente.

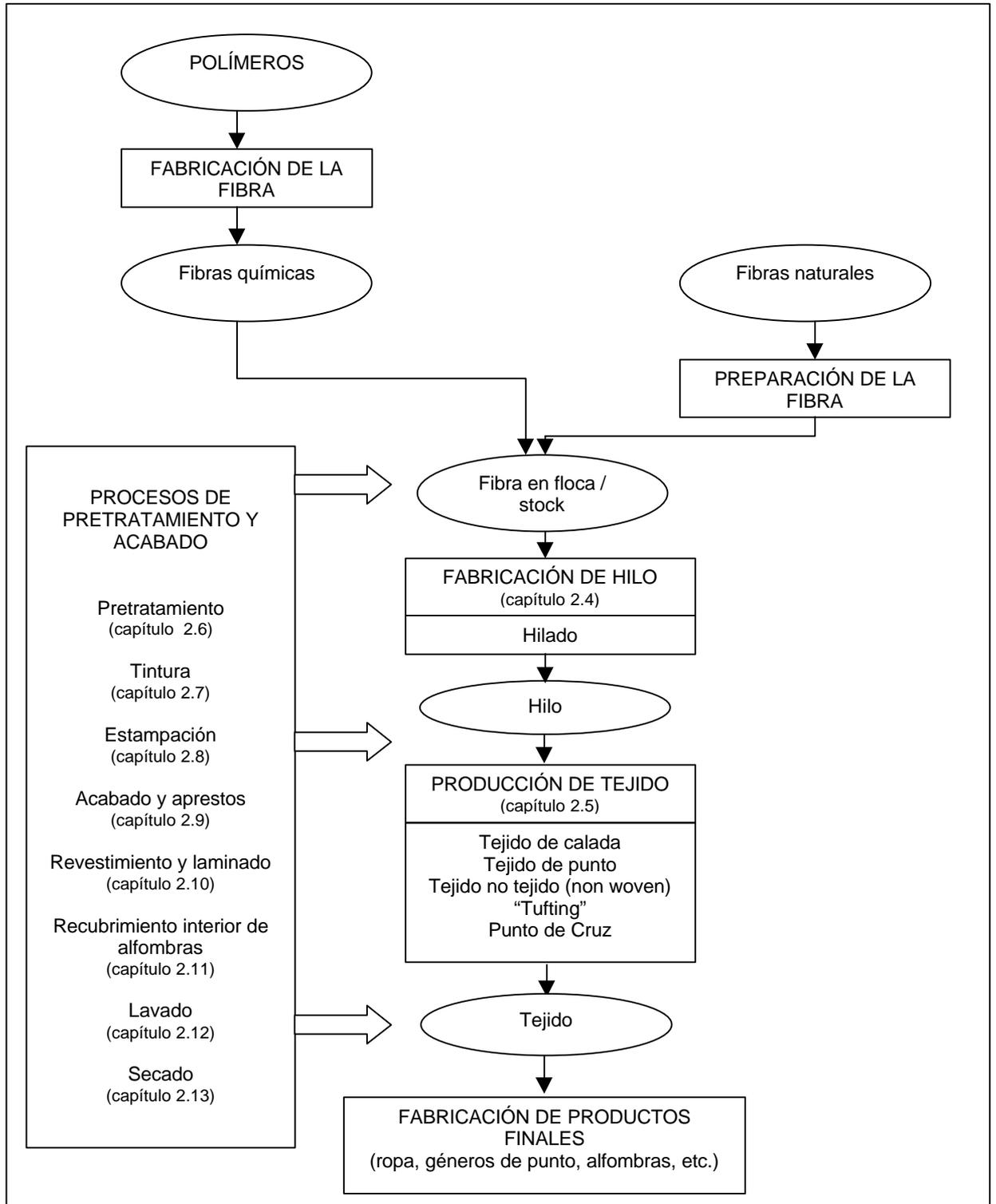


Figura 2.1. Cadena simplificada de la industria textil

2.1 Materias primas

2.1.1 Fibras

La industria textil utiliza dos tipos de fibras: naturales y químicas.

Fibras de origen natural	Origen animal	lana, pelo, seda	
	Origen vegetal	Algodón, cáñamo, lino, ramio, yuste	
	Origen mineral	Asbesto	
Fibras químicas	Fibras artificiales (de polímero natural)	Acetato, cupro, liocel, triacetato, viscosa	
	Fibras sintéticas (de polímero sintético)	Polímeros inorgánicos	Metal (fibra de metal) Vidrio (fibra de vidrio)
		Polímeros orgánicos	Acrílico (PAC) Elastano (EL) Poliamida (PA) Poliéster (PES) Polipropileno (PP)

Tabla 2.1. Tipos de fibras utilizadas en la industria textil

2.1.2 Productos químicos y auxiliares

En la industria textil se aplica un elevado número de colorantes, pigmentos y productos auxiliares. Básicamente se pueden clasificar en:

- Colorantes y pigmentos
- Reactivos básicos que incluyen todos los productos químicos inorgánicos y los agentes orgánicos reductores u oxidantes, así como los ácidos orgánicos alifáticos
- Productos auxiliares que contienen compuestos principalmente orgánicos, a excepción de aquellos que se consideran en el apartado anterior. También se conocen como *especialidades* y se desconoce su composición exacta.

Actualmente, existen en el mercado más de 7.000 productos comerciales correspondientes a productos químicos y auxiliares (basados en unos 600 principios activos).

2.1.3 Gestión de materiales y almacenaje

Las materias primas fibrosas llegan en balas prensadas y deben ser almacenadas a cubierto. Las sustancias químicas básicas y auxiliares, además, deben ser almacenadas en zonas acotadas. Los materiales más sensibles son transferidos directamente al área de preparación. Estas áreas normalmente están equipadas con sistemas de extracción de aire y sistemas de filtros para evitar la contaminación del aire del lugar de trabajo durante la manipulación de los materiales.

Por otra parte, la alimentación de las líneas de producción se puede realizar de forma manual o automática. En los sistemas manuales, las sustancias se añaden directamente a las máquinas o a contenedores contiguos equipados con una bomba alimentadora. Los sistemas automáticos habitualmente disponen de una estación central de mezcla, y el suministro a las diferentes máquinas se realiza mediante una red de distribución controlada automáticamente por un sistema informático.

2.2 Fabricación de la fibra: fibras químicas

Las fibras químicas son producidas mayoritariamente en filamentos continuos. Existen principalmente tres métodos para la producción de filamentos continuos (hilado primario):

- Hilatura por fusión.- El polímero se funde a una determinada temperatura, se introduce por la apertura de la máquina de hilatura bajo presión, y finalmente se refrigera para formar el filamento. Este método se usa para la fabricación de fibras termoplásticas como el poliéster, la poliamida y la fibra de vidrio.
- Hilatura en seco.- El polímero se disuelve en un disolvente determinado, se introduce por la apertura de la máquina de hilatura, y posteriormente entra en una cámara de aire caliente donde se evapora el disolvente, formándose el filamento. Este método se usa para la fabricación de fibras de acetato, triacetato y poliacrilonitrilo.
- Hilatura en húmedo.- El polímero se disuelve en una solución que se añade posteriormente a un líquido en el que el polímero es insoluble. Entonces, el disolvente se disipa, formándose la fibra. Con este método se fabrican las fibras de viscosa y las acrílicas.

Después del hilado primario, según el producto final deseado y la fibra procesada, se puede proceder de acuerdo a los siguientes procesos:

- Fabricación de filamento continuo en forma plana o texturizada
- Fabricación de fibra cortada.

A la aplicación de agentes de preparación en el hilado primario le siguen, por lo general, otras adiciones durante el hilado secundario. Estos agentes tendrán que ser eliminados para asegurar la penetración uniforme de colorantes y agentes de acabado.

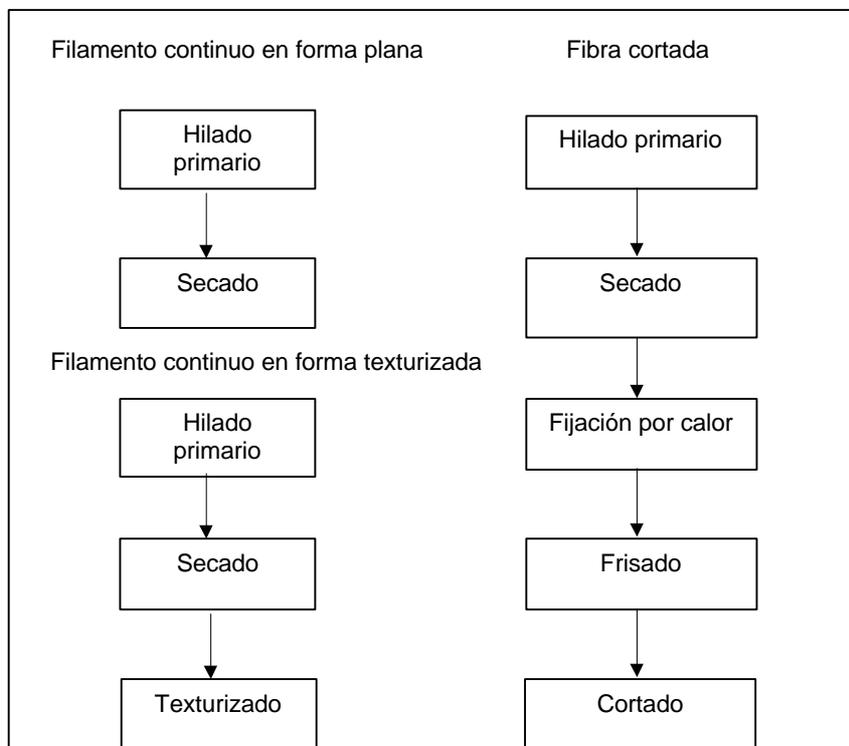


Figura 2.2. Secuencias simplificadas de los procesos de fabricación de filamento continuo (plano y texturizado) y de fibra cortada.

2.3 Preparación de la fibra: fibras naturales

2.3.1 Lana

Previamente al proceso de desgrasado, la lana es abierta y sacudida. Se trata de un proceso mecánico diseñado para extraer la suciedad y mejorar la eficacia del posterior lavado.

2.3.1.1 El desgrasado de la lana

En el desgrasado de la lana, el lavado se realiza mediante un sistema de tanques por los que el material circula para conseguir la disolución del churre y la suspensión de la suciedad. El primer tanque se carga con agua. Para extraer la grasa por emulsión, los tanques siguientes se cargan con agua, detergentes y carbonato de sodio u otro álcali. Finalmente, para su aclarado, la lana se pasa por barcas con agua a 55-70 °C, que es la temperatura con la que se alcanza la fusión de la grasa de la lana y los detergentes presentan una mayor eficacia.

Entre tanque y tanque se extrae el exceso de agua de la lana mediante cilindros exprimidores. El agua del sistema circula a contracorriente para así disponer en cada fase del proceso de agua de mejor calidad.

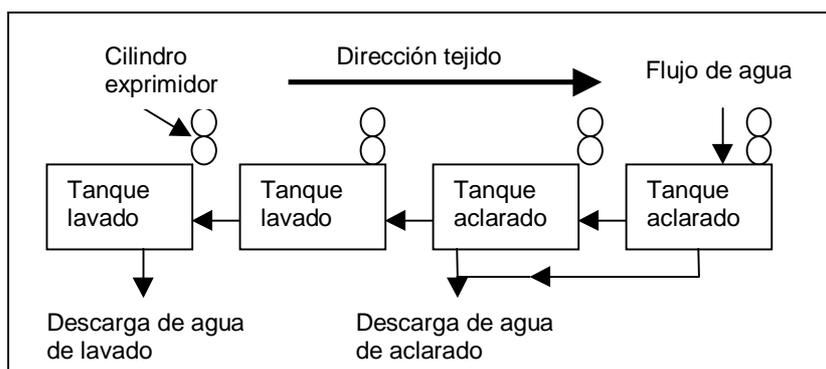


Figura 2.3. Proceso convencional de lavado de la lana

Las nuevas plantas de lavado disponen de un sistema integrado para la recuperación de la lanolina o grasa de lana (subproducto valorizable de alto valor añadido), así como para la recirculación del agua de lavado.

Después del proceso de lavado, la lana contiene una humedad del 40-60 %, por lo que se procede a su secado con aire caliente. Para el ahorro de energía, el suministro de calor puede ser controlado por un dispositivo que mide la humedad de la atmósfera o el contenido de humedad de la lana.

2.3.1.2 Aspectos medioambientales

La principal problemática ambiental asociada al lavado de lana es la contaminación de las aguas. Sin embargo, los residuos sólidos y las emisiones atmosféricas también deben ser consideradas.

Contaminación potencial del agua

La eliminación de los contaminantes de la fibra cruda puede conducir a la descarga de un efluente con alta concentración de materia orgánica, suciedad y otros agentes contaminantes.

También se pueden encontrar detergentes, cuya presencia dependerá de la eficacia de los procesos de recuperación y recirculación. Estos últimos tienen una menor contribución en la contaminación de las aguas residuales del lavado, excepto cuando se usan tensioactivos dañinos para el medio ambiente.

Estas sustancias deben ser depuradas de las aguas residuales para que puedan ser vertidas sin suponer un peligro potencial para el medioambiente.

Contaminación potencial del suelo

En los procesos de lavado de la lana se producen principalmente dos tipos de residuos: la lanolina y el lodo.

La lanolina debe ser considerada como un subproducto, ya que puede ser comercializada para las refinerías de lanolina y posterior utilización en la cosmética.

El lodo resultante de la depuración de las aguas residuales contiene lanolina, pero también suciedad y pesticidas asociados a la lanolina. Los lodos deben ser gestionados como residuos peligrosos.

Contaminación potencial del aire

La contaminación del aire no es importante en los procesos de lavado de la lana. Sin embargo, pueden generarse determinados contaminantes en función del sistema de tratamiento de lodos empleado.

2.3.2 Algodón y lino

El algodón crudo es mucho más limpio que la fibra de lana, y las operaciones iniciales se realizan en seco.

El lino, en cambio, tiene que ser enriado para su maceración (enriado con agua, enriado químico, enriado enzimático, etc.). Del enriado resultan aguas residuales con un alto contenido en DQO y DBO.

El enriado tradicional (enriado con agua) es una práctica no recomendable ambientalmente, motivo por el que ha sido prohibida en algunos países.

2.4 Fabricación de hilo

El hilado secundario es el proceso mediante el cual las fibras cortadas son transformadas en hilo adecuado para la industria textil. Existen principalmente dos tipos de procesos: el hilado de la lana, para el hilado secundario de la lana, y el del algodón, para el hilado secundario del algodón y de las fibras sintéticas.

2.4.1 Peinado

En la peinadora se elimina la fibra corta de lana o restos vegetales y se paralelizan las fibras largas de lana hasta formar la mecha de peinado llamado *tops*. El *tops* puede seguir el proceso de fabricación pasando a la hilandería tal cual o previa tintura.

2.4.2 Hilado de la lana

El proceso de hilado de la lana se puede llevar a cabo mediante dos sistemas:

- El hilado de lana (lana cardada): las fibras cortas simplemente son cardadas e hiladas. En el cardado, se abren las fibras y se elimina la materia vegetal y el polvo que no se ha extraído en procesos anteriores.
- El hilado de estambre (lana peinada): las fibras largas se colocan en paralelo en una máquina peinadora, son estiradas e hiladas y se obtiene un hilo más fino y de mayor calidad. Este sistema se utiliza en fibras de lana.

En ambos se aplican lubricantes para permitir un eficiente procesado mecánico.

El hilo resultante de ambos sistemas se somete después al proceso de torsión y, finalmente, se prepara para los tratamientos posteriores mediante una operación de bobinado.

2.4.3 Hilado del algodón

Las fibras, sean de algodón o sintéticas, se someten a los siguientes procesos: cardado, peinado, estirado, mecha, hilado, torsión y bobinado.

2.4.4 Aspectos medioambientales

Los agentes de preparación aplicados a la fibra durante el proceso de hilado deben ser eliminados antes de la tintura; de otra forma se encuentran en las emisiones de aire de los procesos de combustión o en los vertidos de agua de los tratamientos mojados, con las posibles consecuencias de contaminación.

Asimismo, cabe hacer mención al elevado consumo eléctrico que el proceso requiere, así como la contaminación acústica generada por la maquinaria.

2.5 Producción de tejido

2.5.1 Tejido de calada

2.5.1.1 Urdido

En el urdido se arrollan los hilos paralelamente. Durante esta operación no se emplea ningún tipo de auxiliar que pueda tener una posible incidencia ambiental.

2.5.1.2 Encolado

Las colas se aplican para lubricar y proteger el hilo durante su tisaje. Las principales colas pueden ser agrupadas en dos clases:

- Colas basadas en polisacáridos naturales
- Polímeros totalmente sintéticos.

Las colas utilizan normalmente una mezcla de estas sustancias que varía según las fibras procesadas, el tisaje y el sistema de reciclaje de los agentes. Estos agentes deberán ser eliminados posteriormente mediante el desencolado.

2.5.1.3 Tisaje

Es el proceso mediante el cual los hilos se montan juntamente en un telar y se obtiene el tejido. El proceso requiere electricidad, lubricantes y aceites para la lubricación del telar, que en algunos casos pueden llegar a contaminar el tejido.

2.5.2 Tejido de punto

2.5.2.1 Encerado

El hilo producido especialmente para la industria del punto es encerado, generalmente con cera de parafina, para poder hacer punto a una velocidad más alta y proteger el hilo de los roces mecánicos.

2.5.2.2 Fabricación de tejido de punto

Es un proceso mecánico que necesita únicamente de hilo para punto junto con una serie de agujas. Se usan además aceites minerales para lubricar las agujas y otras partes de la maquinaria que pueden llegar a contaminar el tejido.

El aceite y la cera que permanece sobre el tejido final serán lavados durante los tratamientos de preparación y blanqueo.

2.5.3 Alfombras y moquetas

Esta particular clase de tejidos puede ser descrita esquemáticamente como una composición hecha de las siguientes capas:

- Una base de soporte hecha principalmente de polipropileno (75 %)
- Una base de pelo hecha de filamento o de hilos de fibra cortada (principalmente polipropileno, poliamida, poliéster, lana, fibras acrílicas)
- Una base de prerrevestimiento cuya función es el anclaje de la capa de pelo a la capa de soporte. Está hecha de caucho de goma sintética o de una dispersión artificial basada en estireno carboxílico-butadieno de caucho de látex
- Una base de recubrimiento que es una capa adicional aplicada en el reverso de la alfombra. Esta capa se usa principalmente para reforzar el anclaje de la capa de pelo, para mejorar la estabilidad dimensional de la alfombra o para proporcionar características como antideslizante, aislamiento térmico, etc.

Las técnicas de fabricación de alfombras son las que se describen a continuación.

2.5.3.1 Alfombra «Tufted»

Las alfombras «tufted» están compuestas por las capas siguientes:

- Capa de pelo (a)
- Capa de soporte (b)
- Capa de prerrevestimiento (c)
- Capa de revestimiento (d)

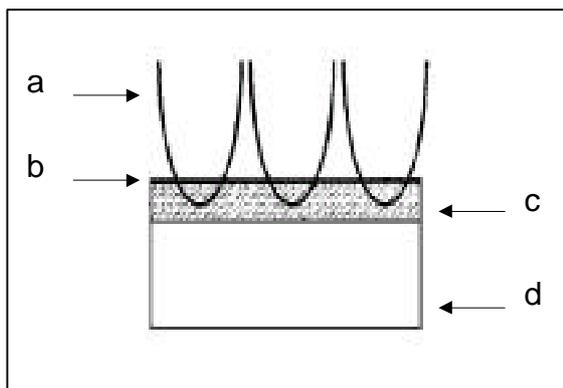


Figura 2.4. Sección de una alfombra «tufted»

En el proceso «tufted», la capa de pelo es insertada mediante agujas en la capa de soporte.

2.5.3.2 Alfombra de punto de cruz

En las alfombras de punto de cruz, las fibras están en cruz una al lado de la otra y se comprimen mediante agujas y agentes aglutinantes. Pueden estar compuestas por una o varias capas, con o sin capa de soporte. Para la aglutinación de las fibras, el sustrato de punto de cruz se somete posteriormente a tratamiento térmico o químico.

2.5.3.3 Alfombra tejida

El proceso de fabricación de este tipo de alfombras es similar al de cualquier otro tejido de calada.

2.5.4 No-tejidos (non-woven textiles)

El textil fabricado sin un paso intermedio de procesado de hilo se llama no-tejido. Su aplicación es amplia: filtros, textiles técnicos, trapos de fregar, etc.

El único impacto ambiental significativo está relacionado con los gases emitidos durante los procesos térmicos y químicos para mantener unidas las fibras.

2.5.5 Aspectos medioambientales

Los aspectos medioambientales más destacables del proceso de producción del tejido son, fundamentalmente, el elevado consumo eléctrico que el proceso requiere, así como la contaminación acústica generada por la maquinaria.

2.6 Pretratamiento

Los procesos de pretratamiento se suelen realizar en el mismo equipo destinado a la tintura y su objetivo es asegurar:

- La separación de las impurezas de las fibras para mejorar su uniformidad, sus características hidrofílicas y su afinidad para colorantes y tratamientos de acabado
- La liberación de las tensiones en las fibras sintéticas.

2.6.1 Pretratamiento del algodón y las fibras de celulosa

2.6.1.1 Principales procesos

El pretratamiento del algodón incluye varias operaciones: chamuscado, desencolado, descrudado, mercerizado y blanqueo. Algunos de estos tratamientos se realizan conjuntamente con la finalidad de reducir el tiempo de producción y el espacio ocupado.

Chamuscado

La fibra libre de la superficie del tejido le da un mal aspecto superficial y produce un efecto conocido como escarcha cuando se tiñe. Por ese motivo, la combustión de las fibras superficiales se realiza pasando el tejido a una cierta distancia de una llama de gas. Inmediatamente después se trata en agua fría para extinguir las llamas y refrescar el tejido.

Durante el chamuscado se producen emisiones de olores, polvo y componentes orgánicos.

Desencolado

Se usa para eliminar del tejido los componentes de encolado aplicados con anterioridad. Las técnicas son diferentes dependiendo del tipo de cola aplicado:

- Cola insoluble en agua: es difícil de eliminar y requiere de una acción catalítica de una enzima, usada frecuentemente, o de un tratamiento químico para convertirla en forma soluble
- Cola soluble en agua: solamente requiere el lavado con agua caliente y carbonato de sodio; en algunos casos, como por ejemplo, el alcohol polivinil en medio alcali, coagula y solo se puede desencolar con agua y detergente
- Cola soluble e insoluble en agua: mediante el desencolado oxidante, proceso que combina el desencolado con el blanqueo, se elimina la cola soluble e insoluble. El tejido se impregna en una solución que contiene peróxido de hidrógeno y sosa cáustica.

Descrudado

Se utiliza para eliminar las impurezas propias de la fibra cruda o aquellas recogidas en alguna etapa anterior de la cadena de producción. Se potencia con álcalis y sustancias auxiliares.

Mercerizado

Se utiliza para mejorar la resistencia a la tracción, la estabilidad y el lustre del algodón. Además se obtiene una mejora en el rendimiento del colorante durante la tintura (reducción del 30-50 % de su consumo). Existen tres tipos de mercerizado:

- Mercerizado con tensión: el algodón es tratado bajo tensión con una solución concentrada de sosa cáustica
- Mercerizado sin tensión (caustificación): el material es tratado con una solución con baja concentración de sosa cáustica y sin aplicación de tensión. Esto permite que el material se encoja mejorando la absorción del colorante
- Mercerizado con amonio: el algodón puede ser tratado con amoníaco como alternativa a la sosa cáustica. El grado de lustre es menor y los rastros de amoníaco deben ser eliminados mediante tratamiento térmico en seco seguido de una vaporización. Este método no es muy utilizado.

Blanqueo

Para el blanqueo de las fibras de celulosa el tejido es tratado en una solución que contiene peróxido de hidrógeno, sosa cáustica y estabilizadores en un pH de 10,5-12. En algunos casos particulares se emplea peróxido de hidrógeno en combinación con clorito sódico. También en casos muy específicos se utiliza hipoclorito sódico.

2.6.1.2 Aspectos medioambientales

Las principales problemáticas ambientales del pretratamiento del algodón están relacionadas con los vertidos de aguas residuales.

Contaminación originada por las impurezas propias de la materia prima

Los residuos de pesticidas se pueden encontrar en el algodón y el lino, aun habiendo sido lavado. Estos son principalmente organofosfatos (OP), sintéticos (SP) y reguladores de crecimiento de los insectos (IGR), así como AOX. Según su carácter lipofílico, estos compuestos pueden ser liberados con las aguas residuales. También debido a su elevada volatilidad, algunos pesticidas pueden ser emitidos a la atmósfera.

Los lubricantes y otros agentes de preparación se eliminan durante el proceso de lavado y contribuyen al aumento de la carga de DQO y de la toxicidad de las aguas residuales.

Desencolado y descrudado

Se debe tener en consideración la carga de DQO en las aguas residuales asociada a la eliminación de los lubricantes y de los agentes de preparación, y las propiedades de biodegradación de estos compuestos.

Mercerizado

El mercerizado es el proceso responsable de la presencia de álcalis en las aguas residuales, los cuales deben ser neutralizados. El proceso de mercerizado en frío genera mayores emisiones que el proceso en caliente. Asimismo, cabe señalar el mercerizado con amonio, proceso que generador de emisiones a la atmósfera.

La descomposición del peróxido de hidrógeno que tiene lugar en la reacción de blanqueo forma solamente agua y oxígeno. Sin embargo, se deben tener en consideración los estabilizadores usados que son complejos con muy poca capacidad de bioeliminación.

Si se utiliza el hipoclorito sódico, muy limitado en Europa, se pueden producir reacciones secundarias que formen componentes orgánicos halogenados y emisiones atmosféricas de

dioxinas y cloro. El clorito sódico también puede generar AOX en las aguas residuales, sin embargo, en una proporción muy inferior.

Blanqueo

La descomposición del peróxido de hidrógeno que tiene lugar en la reacción de blanqueo, forma solamente agua y oxígeno. Sin embargo, se deben tener en consideración los estabilizadores usados que son complejos con muy poca capacidad de bioeliminación.

Si se utiliza el hipoclorito sódico, muy limitado en Europa, se pueden producir reacciones secundarias que formen componentes orgánicos halogenados y emisiones atmosféricas de dioxinas y cloro. El clorito sódico también puede generar AOX en las aguas residuales, sin embargo, en una proporción muy inferior.

2.6.2 Pretratamiento de la lana para tintura

2.6.2.1 Principales procesos de tratamiento

Carbonizado

Algunas veces la lana lavada contiene impurezas vegetales que no pueden ser eliminadas mediante procesos mecánicos. El ácido sulfúrico es la sustancia química que se utiliza para destruir estas partículas. Este proceso se denomina *carbonización*.

En el proceso típico de carbonizado de fibra en floca, la lana lavada, todavía húmeda, es impregnada por una solución que contiene un 6-9 % de ácido sulfúrico. El exceso de ácido y de agua se eliminan por presión o por centrifugación, pero aproximadamente el 5-7,5 % de ácido y el 50-65 % de agua permanecen. Las fibras se secan entonces a 65-90 °C, y posteriormente a 105-130 °C. Una vez secas, se pasan por dos cilindros que aplastan las partículas carbonizadas en pequeños fragmentos fácilmente eliminables.

Otro proceso alternativo es el Carbosol Process, método que está patentado, en el cual el tejido se impregna y se lava con percloroetileno.

Lavado

El hilo y el tejido pueden contener, además de impurezas accidentales, una cierta cantidad de lubricantes y, en algunos casos, también colas. Todas estas sustancias son eliminadas antes de la tintura para hacer más hidrófila la fibra y permitir una mayor penetración de los colorantes en la fibra.

- Lavado con agua.- El lavado con agua se realiza en medio neutro o débilmente alcalino con presencia de detergentes. Los detergentes comúnmente usados son mezclas de tensioactivos iónicos y no iónicos. El lavado con agua se realiza normalmente en la misma maquinaria utilizada para la tintura de los materiales.
- Lavado en seco.- La limpieza en seco es menos común y solamente se aplica cuando el material está muy sucio y manchado con aceites. El disolvente más usado es el percloroetileno. Las impurezas son arrastradas por el disolvente, que tiene que ser destilado para su recirculación en un circuito cerrado.

Batanado

El batanado es la operación destinada a aumentar la tupidez y el espesor de los artículos de lana y sus mezclas. El batanado utiliza la tendencia del fieltrado de la lana cuando se

suministra una acción mecánica de fricción en condiciones de temperaturas altas en medio ácido (pH < 4,5) o en medio álcali (pH > 8).

Blanqueo

La lana se blanquea con peróxido de hidrógeno aplicado en medio alcalino y con estabilizadores que reducen la velocidad de descomposición del peróxido. Sin embargo, si se desean altos grados de blanco es necesario un blanqueo adicional, normalmente con hidrosulfitos.

2.6.2.2 Aspectos medioambientales

El pretratamiento de la lana puede dar lugar principalmente a vertidos de aguas residuales, aunque también se realizan operaciones en las que se emplean disolventes halógenos (percloroetileno) que pueden producir emisiones a la atmósfera, así como contaminación del suelo y de las aguas si su uso y almacenaje se realiza inadecuadamente.

Contaminación originada por las impurezas propias de la materia prima

Los residuos de pesticidas se pueden encontrar todavía en la lana lavada. Estos son principalmente organofosfatos (OP), sintéticos (SP) y reguladores de crecimiento de los insectos (IGR). Según su carácter lipofílico, estos compuestos pueden ser liberados con las aguas residuales. También debido a su elevada volatilidad, algunos pesticidas pueden ser emitidos a la atmósfera.

Los lubricantes y otros agentes de preparación se eliminan durante el proceso de lavado y contribuyen al aumento de la carga de DQO y de la toxicidad de las aguas residuales.

Contaminación originada por sustancias químicas auxiliares

En el pretratamiento se usan una cantidad considerable de tensioactivos como detergentes, humectantes, etc. Aunque actualmente existen tensioactivos con elevada biodegradabilidad y rendimiento aceptable, es común todavía el empleo de alquilfenol etoxilado, con una elevada toxicidad.

Otros agentes con significación ambiental que pueden estar presentes en las aguas residuales del pretratamiento son reductores, complejos, componentes orgánicos halógenos, etc.

2.6.3 Pretratamiento de la seda

2.6.3.1 Principales procesos

Lavado

El desgomado es el proceso en que se elimina, parcial o totalmente, la sericina, así como los aceites naturales y las impurezas orgánicas, para teñir o estampar la seda. El desgomado puede realizarse con el uso de jabón, de tensioactivos, con tratamientos enzimáticos o con un tratamiento en agua a alta temperatura y bajo presión.

El producto final se denominará según el porcentaje de la sericina eliminada:

- Seda cruda: elimina todas las sustancias residuales con una extracción mínima de sericina (1-2 %). El lavado se realiza en un baño débilmente alcalino con baja concentración de jabón y baja temperatura.

- Seda souple: pierde un 10 % de sericina. El proceso se realiza sobre los hilos en condiciones ácidas.
- Seda cocida: asegura una eliminación completa de la sericina y las sustancias añadidas en operaciones previas.

Cargado

Esta operación se realiza para la recuperación de peso después de la eliminación de la sericina. Existen tres tipos de cargado de la seda:

- Cargado con minerales.- El hilo de seda se baña en una solución con tetracloruro de estaño. El procedimiento continúa con ciclos de lavado para eliminar la sal no fijada e hidrolizar la sal presente sobre la fibra. Para asegurar la fijación se completa con un tratamiento con fosfato sódico, seguido de un segundo tratamiento con silicato sódico. Supone un tiempo de procesamiento muy elevado y un alto consumo de agua y energía. Además, la alta cantidad de estaño en las aguas residuales es un problema medioambiental.
- Cargado con monómeros de vinilo.- La inclusión de monómeros de vinilo (metacrilamida) sobre la seda no sólo permite obtener el incremento de peso deseado, sino que también mejora las características de la seda.
- Cargado mixto.- El cargado mixto es el método más usado y se trata de una mezcla de cargado con estaño y con metacrilamida.

2.6.3.2 Aspectos medioambientales

Las aguas residuales del lavado de la seda contienen una elevada carga de materia orgánica y de compuestos nitrogenados orgánicos.

El uso de tetracloruro de estaño en el cargado de la seda puede generar importantes cantidades de estaño en las aguas residuales.

2.6.4 Pretratamiento del material sintético

2.6.4.1 Principales procesos de tratamiento

Las operaciones principales antes de la tintura son el lavado y el termofijado.

Lavar es necesario para eliminar los agentes de preparación que se han aplicado en los tratamientos anteriores. La mayoría de estos agentes se eliminan durante esta fase (un 95 %). La eliminación de las colas en el tejido es también un paso crucial.

La extracción de estas sustancias se alcanza gracias a la acción de:

- Tensioactivos.- Actúan como humectantes y emulsificantes, y promueven la solubilización del apresto.
- Complejos.- Se usan cuando hay riesgo de precipitación de los componentes del apresto por acción de métodos oleosintéticos y pesados.
- Álcali.- El álcali se escoge según el apresto empleado.

La termofijación también constituye una operación importante en el pretratamiento de las fibras sintéticas.

2.6.4.2 Aspectos medioambientales

Las fibras sintéticas contienen muchas impurezas y aditivos potencialmente dañinos y pueden suponer una fracción importante de la contaminación resultante del pretratamiento. Algunas de estas impurezas se producen durante la fabricación de la fibra, y otras se agregan intencionadamente para mejorar los tratamientos posteriores (agentes de preparación).

Cuando se lava el tejido, alrededor del 80 % de estas sustancias se eliminan a través de las aguas residuales, y el 20 % restante se emite a la atmósfera en los tratamientos posteriores a altas temperaturas (secado y termofijado).

2.7 Tintura

2.7.1 Principios generales de la tintura

Teñir implica el empleo de diferentes sustancias químicas y auxiliares. Las sustancias auxiliares, en general, no permanecen sobre el sustrato después de la tintura y se encuentran, en última instancia, en las emisiones. La tintura consta de cuatro etapas diferentes:

En primer lugar, el colorante debe ser disuelto o dispersado en el baño de tintura.

La segunda etapa consiste en la acumulación del colorante en la superficie del material textil.

En tercer lugar, el colorante migra hacia el interior de la fibra. En el caso de las fibras hidrófilas, penetra por los microporos disponibles, mientras que en las fibras hidrófobas, las cavidades tienen que ser desarrolladas para hacer posible la penetración. En general, el acceso a la fibra es realizado con temperatura.

Por último, el colorante se fija. Se conocen diferentes mecanismos de fijación, desde la reacción química del colorante con la fibra para formar una unión covalente (colorantes reactivos) a la formación de fuerzas Van der Waals y otras fuerzas de gama cortas entre la fibra y el colorante (colorantes directos). Hay que tener en cuenta las reacciones de solidificación cuando se trata de colorantes ácidos y básicos (aniónicos y catiónicos).

2.7.2 Procesos de tintura

2.7.2.1 Tintura discontinua

El proceso de tintura discontinua comienza con la absorción del colorante sobre la superficie externa de la fibra y la difusión y migración del colorante por la fibra. El empleo de sustancias químicas y el control de las temperaturas acelera y optimiza el agotamiento y la fijación del colorante. Una vez el colorante se ha fijado a la fibra, el baño de tintura agotado se drena y el tejido se lava para quitar los colorantes no fijados y las sustancias químicas auxiliares.

Un parámetro importante en la tintura discontinua es la relación de baño del equipo, que es la proporción de peso entre el material seco y el baño total. Este parámetro no sólo influye en la cantidad de agua y energía consumida, sino que también desempeña un papel importante en el nivel de agotamiento del baño de tintura y en el consumo de sustancias químicas auxiliares.

La siguiente tabla muestra las relaciones de baño para cada tipo de máquina discontinua a plena capacidad, para un solo tratamiento. Estas técnicas se describen con más detalle en el anexo 7.2.

Género		Equipo	Relación de baño
Fibra suelta		Autoclave	1:4 – 1:12
Hilo	Bobinas / conos	Autoclave	1:8 – 1:15
	Madeja	Máquina de tintura para madejas	1:15 – 1:25
Tejido, Género de punto, alfombras «tufted»	Cuerda	Torniquete	1:15 – 1:40
		Overflow	1:12 – 1:20
		Jet	1:4 – 1:10 para tejido 1:6 – 1:20 para alfombra
		Airflow	1:2 – 1:5
	A lo ancho	Barca torniquete	1:15 – 1:30
		Plegador	1:8 – 1:10
		Plegador + lavadora	1:10 – 1:15
		Jigger	1:3 – 1:6
		Jigger + lavadora	1:10
		Paddle	1:60
Productos finales (ropa, mantas, etc.)		Tambor	Muy variable

Tabla 2.2. Equipos de tintura discontinua y relaciones de baño

2.7.2.2 Tintura continua y semicontinua

En procesos de tintura continua y semicontinua, el baño de tintura es aplicado al textil por impregnación o bien usando otros sistemas de aplicación (vertido, rociado, inyectado, etc.). De manera común, el textil es alimentado continuamente a través de un fulard lleno de baño de tintura. El sustrato absorbe una cantidad de solución de colorante, antes de salir del tanque, a través de los cilindros, los cuales controlan la recogida del baño. La fijación del colorante se realiza generalmente en una etapa posterior mediante el uso de sustancias químicas o calor. La operación final es el lavado.

La única diferencia entre los procesos de tintura continua y semicontinua es el hecho de que en el segundo caso la tintura se realiza de manera continua, mientras que la fijación y el lavado son discontinuos.

En estos procesos, los factores que hay que considerar son el pick up % (los gramos de baño recogido por 100 gramos de sustrato) y la concentración del colorante. Estas técnicas se describen con más detalle en el anexo 7.2.

Género		Proceso		Equipo
Tejido de calada Tejido de punto Alfombras «tufted»	Tejido en cuerda	Continuo		Máquina de impregnación para tejidos en cuerda + J-Box + Máquina lavar
	Tejido a lo ancho	Semicontinuo	Pad-Batch	Máq. de impregnación + Máq. lavar
			Pad-Roll	Máq. de impregnación + Máq. lavar
			Pad-jig	Máq. de impregnación + jigger + Máq. lavar
		Continuo	Pad-steam	Máq. de impregnación + vaporizador + Máq. lavar
			Pad-dry	Máq. de impregnación + Rame + Máq. lavar
			Thermosol	

Tabla 2.3. Equipos y procesos de tintura continua y semicontinua

2.7.3 Tintura de las fibras de celulosa

Las fibras de celulosa pueden ser teñidas con un amplio rango de colorantes: reactivos, directos, tina, sulfurosos y azoicos.

2.7.3.1 Colorantes reactivos

Dos tercios de los colorantes usados para fibras de celulosa son colorantes reactivos.

En la tintura discontinua, el colorante, el álcali (hidróxido sódico o carbonato de sodio o bicarbonato) y la sal se agregan al baño de tintura al principio del proceso o bien de forma gradual. Su cantidad se determina por la reactividad del sistema y el matiz deseado.

En la tintura continua, el colorante y el álcali suelen agregarse en el baño de tintura separadamente, ya que existe el riesgo de que el colorante, después de un largo tiempo en la cubeta, sea hidrolizado por el álcali antes de reaccionar con la fibra.

2.7.3.2 Colorantes directos

Los colorantes directos también son importantes en la tintura de las fibras de celulosa. El 75 % del consumo total de estos colorantes se utiliza para la tintura de algodón o viscosa. Se aplican directamente en el baño de tintura junto con la sal y agentes auxiliares, que aseguran un continuo efecto humectante y dispersante de sólidos.

2.7.3.3 Colorantes tina

Los colorantes tina tienen unas propiedades de solidez excelentes y, a menudo, se usan para los tejidos que serán sometidos a un lavado severo y a condiciones de blanqueo. Los colorantes de tina son insolubles en agua, pero se convierten en solubles y colorantes directos para la fibra después de su reducción en condiciones alcalinas. Después, vuelven a su forma original insoluble por oxidación y de este modo permanecen fijos en la fibra.

2.7.3.4 Colorantes sulfurosos

Los colorantes sulfurosos son también insolubles en agua y, en condiciones alcalinas reductoras, se convierten en solubles y presentan una alta afinidad para la fibra. Después de la adsorción en la fibra, el colorante se oxida y regresa a su estado original insoluble.

2.7.3.5 Colorantes azoicos

Los colorantes azoicos consiguen unos colores con una firmeza excepcional, pero su uso ha disminuido debido a sus gastos de aplicación y a la complejidad del proceso para la preparación del colorante.

2.7.4 Tintura de la lana

2.7.4.1 Colorantes ácidos

Los colorantes ácidos se aplican en condiciones ácidas, pero la gama de pH usada varía según el tipo de colorante ácido. Cuanto mayor es la afinidad del colorante a la fibra, más se debe retardar la interacción hidrófoba fibra-colorante mediante la aplicación del colorante con pH más alto. En la tintura con colorantes ácidos, los igualadores desempeñan un papel muy importante.

2.7.4.2 Colorantes con cromo

Para la aplicación de los colorantes con cromo, el proceso más utilizado es el cromado posterior, en el cual se aplica primero el colorante y la fibra es cromada por separado, utilizando el baño de tintura agotado y conservando el mismo baño.

La aplicación del colorante se realiza en un baño de tintura moderadamente ácido (un 1 % de ácido acético), a menudo, con posterior adición de ácido fórmico después del hervido para promover el agotamiento del tinte.

2.7.4.3 Colorantes premetalizados

El uso de colorantes premetalizados en proporción de 1:1 se realiza con un pH de 1,8 a 2,5 mediante el uso de ácido sulfúrico, o con un pH de 3 a 4 con ácido fórmico, en presencia de sulfato sódico (5-10 %) y otros agentes de igualación orgánicos.

El uso de colorantes premetalizados en proporción de 1:2 se realiza en condiciones moderadamente ácidas. El pH se extiende, en este caso, entre 4 y 7 con uso de ácido acético en presencia de acetato amónico, para complejos débilmente polares, o entre 5 y 6 con utilización de ácido acético en presencia de sulfato amónico, para complejos polares.

El uso de igualadores es muy común cuando se emplean colorantes premetalizados.

2.7.4.4 Colorantes reactivos

Los colorantes reactivos generalmente se aplican en entornos de pH de entre 5 y 6, según la intensidad requerida, en presencia de sulfato amónico e igualadores específicos.

2.7.5 Tintura de la seda

La seda se tiñe con los mismos colorantes que la lana excepto los colorantes premetalizados 1:1. Además, también se pueden usar colorantes directos.

2.7.6 Tintura de fibras sintéticas y de polímero natural

2.7.6.1 Fibras de poliamida

Las fibras de poliamida pueden ser teñidas con varios tipos de colorantes: dispersos, ácidos, básicos, reactivos y premetalizados 1:2. Sin embargo, en la práctica, los colorantes ácidos son los más usados.

- Colorantes dispersos.- Los colorantes dispersos usados en las fibras de poliamida son principalmente compuestos azoicos y antraquinonas. El material se tiñe en condiciones ácidas (pH 5) mediante ácido acético. También se usan agentes dispersantes.
- Colorantes ácidos.- Para optimizar el agotamiento, el baño de tintura puede ser ligeramente alcalino en un principio, para luego ir disminuyendo su pH lentamente.

2.7.6.2 Fibras de poliéster

Las fibras de poliéster se tiñen únicamente con colorantes dispersos.

La tintura de poliéster con colorantes dispersos antes se realizaba a temperaturas inferiores a 100 °C y con la ayuda de carriers, perjudiciales para el medio ambiente. Actualmente se tiñe a temperaturas superiores de 100 °C y se evita el uso de carriers.

Los artículos hechos de pura fibra de poliéster se tiñen casi exclusivamente mediante procesos de tintura discontinua y en condiciones de alta temperatura. Generalmente, el proceso se realiza en medio ácido (pH 4-5) mediante la adición de ácido acético a unos 125-135 °C. En estas condiciones, los igualadores son necesarios para evitar una absorción excesivamente rápida.

También pueden usarse colorantes estables en condiciones alcalinas para procesos de tintura en medio alcalino (pH 9-9,5). Esta técnica se ha desarrollado para neutralizar la migración y deposición de los oligómeros típicos del poliéster, algunos de ellos especialmente dañinos.

El proceso Thermosol es otra técnica aplicada, aunque se usa principalmente para mezclas de poliéster y celulosa. El colorante disperso se impregna sobre el textil junto con agentes que previenen la migración. Después, la materia se seca a 100-140 °C. Por último, el colorante se fija a 200-225 °C durante 12-25 segundos.

2.7.6.3 Fibras acrílicas

Las fibras acrílicas pueden teñirse con colorantes dispersos y con colorantes catiónicos.

- Colorantes dispersos.- Las técnicas de tintura son las mismas que las empleadas en las fibras de poliéster. La tintura se puede realizar a temperaturas inferiores a 100 °C sin el uso de carriers. Además, tampoco se requieren agentes de nivelación.
- Colorantes catiónicos.- El proceso se realiza con un electrolito (acetato sódico o sulfato sódico), ácido acético, un dispersante no iónico y un agente retardante.

2.7.6.4 Acetato de celulosa (CA) y triacetato de celulosa (CT)

El acetato de celulosa (CA) se tiñe con colorantes dispersos mediante el método de agotamiento, en presencia de agentes de dispersión, en condiciones débilmente ácidas (pH 5-6) y a temperaturas de 80-85 °C.

El triacetato de celulosa se tiñe con colorantes de dispersión en condiciones débilmente ácidas y con igualadores. Los dos métodos más usados son el método discontinuo y el proceso Thermosol.

2.7.7 Tintura de mezcla de fibras

La tintura de la fibra mezclada es una operación más larga y complicada que la de la fibra pura. Los métodos más usados son:

- Tintura de las dos fibras con el mismo matiz.
- Tintura de una de las dos fibras. El colorante no es absorbido por las otras fibras.
- Tintura de las diferentes fibras en matices diferentes.

2.7.7.1 Mezcla de poliéster y celulosa

En la tintura de este tipo de mezcla se usan colorantes dispersos para el poliéster y colorantes reactivos, colorantes tina o colorantes directos para la celulosa.

La mezcla de poliéster y celulosa se realiza en la tintura continua por el procedimiento Thermosol. Sin embargo, para el hilo y los géneros de punto, la tintura discontinua es la más usada.

En los procesos continuos, el colorante disperso se aplica generalmente en un único baño. Posteriormente se seca el tejido y se fija el colorante mediante el proceso Thermosol. Después, el segundo colorante se aplica según el procedimiento típico de cada clase (pad-steam, pad-jig o pad-batch).

En los procesos discontinuos la aplicación de los colorantes se realiza, normalmente, en un baño y una etapa.

2.7.7.2 Mezcla de poliéster y lana

La lana no se puede teñir a las altas temperaturas de la tintura de las fibras de poliéster. Además, el tiempo de tintura también debe ser el menor posible para no dañar la lana. Por estos motivos, es mejor teñir la lana y el poliéster por separado.

Cuando se tiñe una mezcla de poliéster y lana, se usan colorantes dispersos para el poliéster y colorantes ácidos o colorantes premetalizados para la lana. La mezcla se tiñe normalmente con uno de los tres siguientes procesos discontinuos:

- Tintura a temperatura de ebullición con carriers.
- Tintura a 103-106 °C con poca cantidad de carriers.
- Tintura a 110-120 °C con adición de formaldehído como agente protector de la lana y con poca cantidad de carriers o sin ellos.

Debido a la problemática ambiental asociada a los carriers, la primera de las técnicas se evita siempre que es posible.

2.7.7.3 Mezcla de poliamida y celulosa

Existen diferentes posibilidades para la tintura de esta mezcla, debido a que la poliamida tiene afinidad con casi todos los colorantes empleados para la tintura de la celulosa:

- Colorantes directos y colorantes dispersos (pH 8).
- Colorantes ácidos o colorantes premetalizados 1:2 (pH 5-8).
- Colorantes tina.
- Colorantes reactivos.

Las condiciones de aplicación son las típicas para cada clase de colorante.

2.7.7.4 Mezcla de poliamida y lana

Ambas fibras tienen afinidad para los colorantes ácidos y los colorantes premetalizados 1:2; sin embargo, la poliamida es más accesible al colorante que la lana. Para neutralizar este efecto, se usan igualadores especiales.

La tintura se realiza en presencia de ácido acético y sulfato sódico.

2.7.7.5 Mezcla de acrílico y celulosa

El acrílico se tiñe mediante colorantes catiónicos o colorantes dispersos, mientras que la celulosa se tiñe con colorantes directos, tina o reactivos. Los métodos más usados son los siguientes:

- Tintura continua con colorantes catiónicos y directos. Para evitar la precipitación de los colorantes presentes en el baño se añade a la solución una combinación de tensioactivos iónicos y no iónicos.
- Tintura discontinua con colorantes catiónicos y tina o bien con colorantes catiónicos y reactivos.

2.7.7.6 Mezcla de acrílico y lana

Los colorantes premetalizados, los colorantes ácidos y los reactivos son los más usados para la lana, mientras que para el acrílico se utilizan los colorantes catiónicos. Para la tintura de este tipo de mezcla se usan los siguientes métodos de agotamiento:

- Un baño y una fase
- Un baño y dos fases
- Dos baños.

El primero de ellos tiene un bajo consumo de agua y permite reducir el tiempo empleado para la tintura; sin embargo, no siempre es aplicable, ya que puede producirse precipitación.

2.7.8 Aspectos medioambientales

En la tabla 2.4 se resumen las fuentes potenciales de emisión y los tipos de emisiones asociadas a los procesos de tintura.

Operaciones	Fuentes de emisión	Tipos de emisiones
Preparación del color	Preparación del colorante	Emisión discontinua de aguas residuales al final de cada etapa con baja concentración de contaminantes
	Preparación de los auxiliares	Emisión discontinua de aguas residuales al final de cada etapa con baja concentración de contaminantes
	Distribución manual de colorantes y auxiliares	Contaminación indirecta debido a dosis inadecuadas y a la manipulación de sustancias químicas
	Distribución automática de colorantes y auxiliares	No debe producirse ningún tipo de emisión, siempre que el sistema se calibre y verifique con regularidad
Tintura discontinua	Tintura	Emisión discontinua de aguas residuales al final de cada ciclo con altas concentraciones de contaminantes (DQO)
	Lavado y aclarado después de la tintura	Emisión discontinua de aguas residuales al final de cada ciclo con alta concentración de contaminantes
	Limpieza del equipo	Emisión discontinua de aguas residuales con baja concentración de contaminantes
Tintura semicontinua o continua	Aplicación del colorante	Emisiones discontinuas de aguas residuales con alta concentración de contaminantes (DQO)
	Fijación por vapor o calor seca	Emisión continua al aire, generalmente no significativa, excepto en algunas situaciones específicas como el proceso Thermosol o el secado del tejido teñido con carriers
	Operaciones de lavado y secado después de la tintura	Emisión continua de aguas residuales con baja concentración de contaminantes
	Descarga del sobrante en el chasis y la cubeta del depósito de alimentación	Emisión discontinua de aguas residuales al final de cada lote con alta concentración de contaminantes
	Limpieza del equipo	Emisión discontinua de aguas residuales con bajas concentraciones de contaminantes, pero que pueden contener sustancias peligrosas cuando se usan agentes reductores e hipoclorito.

Tabla 2.4. Descripción de las emisiones típicas generadas en los procesos de tintura

2.7.8.1 Aspectos medioambientales relacionados con las sustancias utilizadas

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden provenir de los colorantes, de los auxiliares presentes en la formulación del colorante, de las sustancias químicas básicas, de los auxiliares usados en la tintura y de los contaminantes presentes en la fibra.

Colorantes

Los baños de tintura agotados, los baños de tintura residuales y el agua de las operaciones de lavado contienen siempre colorante no fijado.

Los principales efectos sobre el medio receptor son el impacto visual generado por el colorante, efecto que puede afectar a la fotosíntesis, así como la afección sobre las aguas debido al contenido tóxico del colorante, por la presencia de metales pesados y compuestos halogenados. En la siguiente tabla se muestran los colorantes clasificados como tóxicos y/o alérgicos:

Tipo de Colorante	Nombre comercial	Tóxico	Alergénico
Colorantes Ácidos	Ácido Naranja 156 y 165	X	
	Ácido Violeta 17		X
Colorantes Catiónicos	Básico Azul 3, 7 y 81	X	
	Básico Rojo 12	X	
	Básico Violeta 16	X	
	Básico Amarillo 21	X	
Colorantes Directos	Directo Naranja 62	X	
Colorantes Dispersos	Disperso Rojo 1, 11, 15 y 17		X
	Disperso Azul 1, 3, 7, 26, 35, 102 y 124		X
	Disperso Naranja 1, 3 y 76		X
	Disperso Amarillo 1, 9, 39, 49, 54 y 64		X

Tabla 2.5. Colorantes tóxicos y/o alergénicos (Öko-tex, 2003)

Aproximadamente el 60 % o 70 % de los colorantes textiles usados son colorantes azoicos que, en determinadas condiciones de reducción podrían reducir a aminas, algunas de las cuales son consideradas cancerígenas. El uso de colorantes azoicos que puedan disociarse en una de las 22 aminas aromáticas potencialmente cancerígenas está regulado por la Directiva 2002/61/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de julio de 2002, que limita la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (colorantes azoicos) en textiles.

Auxiliares presentes en la formulación del colorante

Según la clase de colorante y su método de aplicación, se encuentran diferentes aditivos en las formulas del colorante. Los aditivos, como no son absorbidos ni fijados por las fibras, son descargados en su totalidad en las aguas residuales. Estos aditivos no son tóxicos; sin embargo, son poco biodegradables y difícilmente bioeliminables.

En la tabla siguiente se muestran los aditivos típicos presentes en los colorantes:

Aditivo	Composición química	DQO (mg/g)	DBO (mg/g)	TOC
Dispersantes	- Lignosulfonatos	1.200	50	15 %
	- Productos de la condensación de naftalensulfónicos con formaldehído	650	50	15 %
	- Copolímeros de óxido de etileno / óxido de propileno	--	--	--
Sales	- Sulfato de sodio, cloruro sódico	--	--	--
Agentes aglutinantes en polvo	- Aceites minerales o aceites de parafina	--	--	--
Agentes antiespumantes	- Acetilglicol, emulsiones de silicona	--	--	--
Agentes antisolidificantes	- Glicerina	1.200	780	90 %
	- Glicol	1.600	10	95 %
Agentes espesantes	- Carboximetil celulosa - Poliacrílatos	1.000	0	30 %
Sistemas tampón	- Fosfato, acetato	--	--	--

Tabla 2.6. características de los aditivos

Sustancias químicas básicas y auxiliares usadas en la tintura

- **Agentes reductores de azufre**
Las aguas residuales de la tintura con colorantes sulfurosos contienen sulfuros, usados en el proceso como agentes reductores. Los sulfuros son tóxicos y contribuyen a incrementar la demanda química de oxígeno (DQO). Además, el sulfuro se convierte en sulfuro de hidrógeno en condiciones ácidas y puede ocasionar problemas de toxicidad por inhalación, corrosión de las tuberías y malos olores.

- **Agentes oxidantes**
Aunque ya no debería ser usado en Europa, el dicromato se continúa utilizado como agente oxidante de los colorantes sulfurosos, de tina y en la tintura de la lana. Mientras que el cromo III muestra una baja toxicidad, el cromo VI es extremadamente tóxico y es cancerígeno para los animales. Durante el proceso de tintura, el cromo VI es reducido a cromo III, siempre que el proceso se mantenga bajo control. Sin embargo, pueden producirse emisiones de cromo VI debido a la manipulación inadecuada del dicromato en la preparación del colorante. Hay que tener en consideración, además, que según las condiciones del medio receptor, el cromo III se puede oxidar a cromo VI.

Producen emisiones de AOX el uso de bromato, yodato y clorito como agentes oxidantes en colorantes de tina y de azufre. También el uso de hipoclorito para decolorar artículos defectuosos o limpiar las máquinas.

- **Sales**
En los procesos de tintura se usan distintas sales, las cuales no se eliminan en los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales. Aunque su toxicidad acuática es baja, en regiones áridas o semiáridas, su empleo elevado puede producir concentraciones por encima del límite tóxico y aumentar la salinidad de las aguas subterráneas.

- **Carriers**
El empleo de carriers se ha reducido significativamente debido a los problemas que pueden ocasionar sobre la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, todavía se utilizan para la tintura de la mezcla de poliéster y lana, en la tintura de poliéster y en la tintura del poliéster-celulosa.

Los carriers incluyen un amplio grupo de compuestos orgánicos, con baja biodegradabilidad y alta toxicidad para las personas y el medio acuático. Sus sustancias activas son: bencenos halogenados, hidrocarbones aromáticos, fenoles, ácido carboxílico y sus ésteres y las alquilftalamidas.

Los carriers de tipo hidrófobo son absorbidos por el textil y sólo los de tipo hidrófilo, como fenoles y derivados de benzoatos, se pueden encontrar en las aguas de vertido. Los carriers que permanecen sobre la fibra después de la tintura y el lavado son parcialmente volatilizados durante el secado y las operaciones de fijación, y pueden dar lugar a emisiones atmosféricas.

- **Otros auxiliares de interés**
En los procesos de tintura se utilizan otros compuestos que pueden dar lugar a contaminación de las aguas (aminas grasas etoxiladas, compuestos de amonio cuaternario, tetraacetato de etileno endiamina, etc.). Habitualmente son compuestos solubles en agua y difícilmente biodegradables, por lo que pueden pasar sin ser transformados, o sólo parcialmente degradados, por sistemas de depuración de aguas residuales. Además, algunos de ellos son tóxicos.

2.7.8.2 Aspectos ambientales relacionados con el proceso de tintura

El consumo de agua y de energía en los procesos de tintura depende de la técnica, de las operaciones realizadas y de la maquinaria empleada.

Tintura discontinua o en lotes

La tintura discontinua requiere un mayor consumo de agua, energía, sustancias químicas y auxiliares que en la tintura mediante proceso continuo. En un régimen manual la mayor parte del colorante se aplica en la primera fase para obtener un matiz que esté próximo a lo requerido en el producto final. Luego se realizan operaciones de adaptación en las que se añaden pequeñas cantidades de colorante para alcanzar el matiz final. El matiz que es difícil de obtener puede requerir adiciones repetidas que conllevan una refrigeración y un nuevo calentamiento entre cada adición.

Tintura continua y semicontinua

Los procesos de tintura continua y semicontinua consumen menos agua cuando no se cambia de color. No obstante, siempre que se empieza un nuevo color, el baño residual debe ser desechado, generándose una mayor carga contaminante que en el proceso discontinuo, aunque el empleo de determinados equipos (tubos, bombas,...) ayudan a reducir la cantidad de baño que será desechado. Asimismo, también es posible reducir al mínimo la carga contaminante mediante el uso de sistemas automáticos de dosificación.

2.8 Estampación

2.8.1 Procesos de estampación

La estampación es otro proceso para la aplicación de color a un sustrato, pero en lugar de colorear el sustrato entero, el color se aplica sólo a unas áreas definidas. Esto implica el uso de técnicas y maquinaria diferentes, aunque los procesos físicos y químicos entre el colorante y la fibra son idénticos que en los procesos de tintura. Un proceso típico de estampación comprende las siguientes fases:

- Preparación de la pasta de color: el colorante soluble o el pigmento se dispersa en una pasta de estampación a alta concentración
- Estampación: la pasta de estampación se aplica sobre el sustrato
- Fijación: inmediatamente después de la estampación, el tejido se seca y el colorante o pigmento queda fijado principalmente con vapor o aire caliente (no se realiza para la estampación de alfombras)
- Tratamiento posterior: esta operación final consiste en el lavado y secado del tejido. No es necesario el lavado cuando la estampación se ha realizado con pigmentos.

2.8.1.1 Estampación con pigmentos

La estampación con pigmentos es, para algunas fibras (por ejemplo las fibras de celulosa), la técnica más aplicada. Los pigmentos pueden utilizarse sobre casi todos los tipos de textiles y, mediante el uso de sustancias auxiliares, se puede obtener una estampación de alta calidad.

Las pastas de estampación con pigmentos contienen: el pigmento, un espesante, un aglomerante y, si es necesario, otros auxiliares como agentes de fijación, termoplastificadores, antiespumantes, etc.

Después de la aplicación de la pasta de estampación, se seca el tejido y, posteriormente, el pigmento se fija a la fibra mediante aire caliente (según el tipo de aglomerante, la fijación también se puede realizar por almacenamiento durante unos días a 20 °C).

La ventaja de este tipo de estampación consiste en que el proceso puede realizarse sin un lavado posterior que, en cambio, es necesario para la mayor parte de otras técnicas de estampación.

2.8.1.2 Estampación con colorantes solubles

Preparación de la pasta

Las pastas de estampación con colorantes contienen: el colorante, un espesante y otras sustancias auxiliares, las cuales pueden ser clasificadas según su función, como oxidantes, reductores, corrosivos para el estampado por corrosión, etc.

Para estampar un solo modelo se necesitan generalmente entre 5 y 10 pastas diferentes. Para reducir posibles pérdidas debido a mediciones incorrectas, la preparación de las pastas se lleva a cabo en estaciones automáticas.

Aplicación de la pasta

Después de su preparación, la pasta se aplica en las áreas específicas del tejido usando una de las siguientes técnicas:

- Estampación directa.- El colorante es aplicado directamente en áreas específicas del sustrato textil pretratado.
- Estampación por corrosión.- Hablamos de estampación por corrosión cuando en el proceso de fijación que sigue a la aplicación de la pasta se produce una destrucción local del colorante aplicado con anterioridad. Si el área teñida anteriormente se vuelve blanca, el proceso se denomina *corrosión blanca*. Si, por el contrario, se obtiene color después de la destrucción del colorante, el proceso se llama *corrosión coloreada*.
- Estampación con reserva.- Se aplica una pasta de estampación especial (llamada *reserva*) sobre ciertas áreas del tejido para prevenir la fijación del colorante. En el caso de las reservas físicas, el material es estampado con una resina difícil de humedecerse que inhibe la penetración del colorante aplicado en una segunda etapa. Las reservas químicas, por su parte, resisten la fijación del colorante mediante una reacción química.

Fijación

Después de la estampación, el tejido se seca. La evaporación del agua conduce a un aumento de la concentración del colorante e impide que se manchen los rodillos cuando el tejido es transportado sobre estos.

La fijación generalmente se realiza con vapor. El vapor de agua se condensa sobre el material estampado, dilata el coagulante, calienta la estampación y proporciona el medio necesario de transporte para la difusión del colorante.

Tratamiento posterior

El último paso del proceso de estampación consiste en el lavado y secado del tejido.

Operaciones auxiliares

Al final de cada partida y en cada cambio de color se realizan las siguientes limpiezas:

- La cinta de goma, a la que el tejido se pega durante la estampación, se limpia de forma continua con agua para eliminar el exceso de pegamento y de pasta de estampación
- Los engranajes de estampación se limpian para eliminar los residuos de pasta y posteriormente se aclaran con agua
- Los contenedores en los que se prepara la pasta se limpian mediante sistemas de absorción antes de su lavado con agua.

2.8.2 Tecnología de estampación

Para la estampación de tejidos se pueden emplear gran variedad de máquinas. Las más usadas son las que se detallan a continuación.

2.8.2.1 Estampadora de cuadro plano

La estampadora de cuadro plano se caracteriza por el hecho de que la pasta de estampación es transferida al tejido a través de sus moldes planos. Para cada color se utiliza un molde específico.

Primero se pega el tejido a una cinta móvil sin fin. Posteriormente, el molde se baja sobre el área que se debe estampar y la pasta de impresión se aplica con una rasqueta. Después, la cinta con el tejido pegado avanza hasta el punto de repetición del modelo y el molde se baja nuevamente sobre el tejido. El tejido estampado avanza hasta llegar a un secador. La máquina stampa solamente un color cada vez. Cuando un color es estampado sobre la longitud entera del tejido, una vez secado está listo para el siguiente ciclo.

En otras máquinas totalmente mecanizadas se estampan todos los colores al mismo tiempo. Para ello están equipadas con varios moldes a lo largo de la máquina de impresión.

2.8.2.2 Estampadora rotativa

Este tipo de máquinas usa el mismo proceso descrito anteriormente, pero, en vez de moldes planos, el color se transfiere al tejido mediante moldes metálicos en forma de cilindro. El tejido se mueve a lo largo de la máquina de modo continuo debajo de un conjunto de moldes cilíndricos, mientras la pasta de estampación es añadida automáticamente en el interior de estos y presionada sobre el tejido.

2.8.2.3 Estampadora jet

En las estampadoras jet, la inyección del colorante en el sustrato se realiza con un chorro de colorante a través de una corriente de aire controlada. Este colorante es drenado hacia el tanque de equilibrio, filtrado y recirculado. El colorante es suministrado de manera continua al tanque de almacenaje principal para compensar la cantidad de colorante consumido.

2.8.3 Aspectos medioambientales

2.8.3.1 Residuos de pasta de estampación

Las causas principales de generación de residuos de pasta son la dosificación incorrecta y la preparación de pasta en exceso para prevenir un posible déficit. Esta pasta se elimina mediante sistemas de captura en seco antes de realizar el aclarado con agua, ya que de este

modo puede ser eliminada de forma segregada, reduciendo al mínimo la contaminación del agua.

2.8.3.2 Aguas residuales de las operaciones de lavado y limpieza

Las aguas residuales se generan principalmente en los procesos de lavado final del tejido después de la fijación, de la limpieza de los sistemas de aplicación en las máquinas de estampación, por la limpieza del equipo de preparación del color y la limpieza de las cintas.

Las sustancias contaminantes que pueden encontrarse en las aguas residuales son:

Contaminante	Fuente	Observaciones
Colorante orgánico	Colorante no fijado	Los problemas ambientales dependerán del tipo de colorante
Urea	Agente hidrotópico	Contribuye a la eutrofización de las aguas
Amoniaco	En pastas de estampación con pigmentos	Contribuye a la eutrofización de las aguas
Sulfatos y sulfitos	Agentes de reducción	Los sulfitos son tóxicos para la vida acuática y los sulfatos pueden causar problemas de corrosión en concentraciones superiores a 500 mg/l
Polisacáridos	Coagulantes	Alta DQO pero fácilmente biodegradables.
Derivados de CMC	Coagulantes	Difícilmente biodegradables y difícilmente bioeliminables
Poliacrilatos	Coagulantes Aglutinadores en las pastas con pigmentos	Difícilmente biodegradables pero bioeliminables en un 70 % como mínimo
Glicerina y polioles	Antimigratorios en la formulación del colorante Solubilizadores en la pasta de estampación	
Sulfonato de m-nitrobenzeno y su correspondiente derivado de amina	Oxidantes en estampación por corrosión. En estampación directa con colorante reactivo inhibe la reducción química de los colorantes	Difícilmente biodegradable y soluble en agua
Alcohol polivinílico	Adhesivo de la cinta	Difícilmente biodegradable pero bioeliminable en un 90 % como mínimo
Aminas aromáticas polisustituidas	Exfoliante reductor en estampación por corrosión con colorantes azoicos	Difícilmente biodegradables y bioeliminables
Aceites minerales / hidrocarburos alifáticos	Coagulantes en la pasta de estampación	Los alcoholes e hidrocarburos alifáticos son fácilmente biodegradables Los alcoholes aromáticos son difícilmente biodegradables y bioeliminables

Tabla 2.7. Las sustancias contaminantes en las aguas residuales de estampación

2.8.3.3 Componentes orgánicos volátiles del secado y la fijación

Otra fuente importante de emisión de contaminantes en los procesos de estampación es el secado y la fijación. En el aire de los gases de combustión se pueden encontrar, en general, distintos compuestos orgánicos.

2.9 Acabado y aprestos

2.9.1 Procesos de acabado y aprestos

El término *acabado* o *apresto* incluye todos aquellos tratamientos que sirven para dar al textil las propiedades finales deseadas. Los tratamientos físicos son denominados *acabados*, y los tratamientos químicos, *aprestos*. En este documento se ha prestado mayor atención a los tratamientos químicos, ya que son los que mayor potencial de contaminación pueden presentar.

En la mayoría de casos, el baño de acabado, en forma de solución / dispersión acuosa, es aplicado mediante técnicas de impregnación (técnicas de fulardado). El tejido se pasa por el baño de apresto, que contiene todas las sustancias requeridas, y se escurre pasándolo entre rodillos; después se seca y, finalmente, el tejido es polimerizado. El lavado como etapa final tiende a ser evitado, a no ser que sea absolutamente necesario.

2.9.2 Tratamientos de apresto

2.9.2.1 Aprestos de fácil cuidado

Los aprestos de fácil cuidado se aplican a fibras que contienen celulosa para proporcionar características como el incremento de resistencia, el planchado mínimo o el no planchado.

Las fórmulas de fácil cuidado contienen varios ingredientes, como resinas reactantes, catalizadores, aditivos (suavizantes, agentes hidrófobos, hidrófilos, etc.) y tensioactivos.

2.9.2.2 Aprestos hidrófobos (repelentes al agua)

El apresto hidrófobo se aplica al tejido cuando se requieren propiedades de impermeabilización junto con propiedades de permeabilidad al vapor de agua o al aire. El apresto hidrófobo se obtiene mediante:

- La precipitación de las sustancias hidrófobas como emulsiones de parafina junto con sales de aluminio (por ejemplo, repelentes basados en cera)
- La transformación química de la superficie de la fibra mediante la adición de polímeros que forman una película repelente al agua (por ejemplo, repelentes de silicona, repelentes basados en resinas, repelentes fluoroquímicos).

2.9.2.3 Aprestos suavizantes

Los suavizantes reducen la fricción entre la fibra. Son emulsiones basadas en agua o dispersiones de materiales activos insolubles en agua (tensioactivos no iónicos y catiónicos; la parafina y las ceras de polietileno y la silicona órgano-modificada).

2.9.2.4 Aprestos ignífugos

Los aprestos ignífugos deben proteger la fibra de la combustión, sin modificar su tacto, color o aspecto del tejido. Para ello se usa una amplia gama de sustancias químicas que, o bien reaccionan con el textil (tratamiento durable), o bien son usadas como aditivos (tratamiento temporal).

Los aprestos ignífugos más usados en el sector textil pertenecen a las siguientes tipologías:

- Compuestos inorgánicos
- Compuestos orgánicos halogenados
- Compuestos orgánicos fosforados.

2.9.2.5 Aprestos antiestático

Este tratamiento es muy común para las fibras sintéticas. El proceso consiste en el tratamiento del tejido con sustancias higroscópicas que aumentan la conductividad eléctrica de la fibra, evitando la acumulación de carga electrostática. Los aprestos antiestáticos se basan en componentes de amonio cuaternario o en derivados de ésteres de ácido fosfórico.

2.9.2.6 Aprestos antipolilla

El agente antipolilla más usado es la permetrina. Las formulaciones basadas en este apresto ocupan alrededor del 90 % del mercado.

2.9.2.7 Aprestos bactericida y fungicida

Estos tratamientos pueden ser aplicados a los productos químicos (para preservar las sustancias auxiliares o los colorantes) y/o a la ropa. Las sustancias más usadas como agentes antimicrobianos son las isotiazolinonas; sin embargo, también se utilizan compuestos orgánicos de zinc, compuestos orgánicos de estaño, compuestos diclorofenílicos, derivados de benzimidazol y el triclosano.

2.9.2.8 Aprestos inencogible para la lana

Previene el encogimiento del producto cuando este se lava repetidamente. Existen tres tipos de aprestos inencogibles:

Tratamiento de oxidación

La estructura externa de la fibra se cambia químicamente. Este tratamiento se realiza usando hipoclorito sódico, dicloroisocianurato sodio o cloro activo (en desuso).

Tratamiento con resinas

Los polímeros se aplican en la superficie de la fibra formando una película.

Tratamiento combinado

El tratamiento combinado, más antiguo, es el conocido como el proceso Hercosett, que consiste en un pretratamiento con cloro seguido por el uso de una resina de poliamida-epicloridrina. Las aguas residuales resultantes de este proceso muestran concentraciones altas de DQO y AOX.

2.9.3 Aspectos medioambientales

Los tratamientos químicos de los procesos de apresto son los más significativos desde el punto de vista ambiental. Las emisiones son diferentes según se apliquen procesos continuos o discontinuos.

2.9.3.1 Aspectos medioambientales asociados a los procesos de apresto continuo

Salvo excepciones, los procesos de apresto continuo no requieren operaciones de lavado después de la polimerización. Las posibles emisiones de contaminantes a las aguas residuales son restringidas a las pérdidas del sistema y al agua usada para limpiar los equipos.

En el proceso de secado y polimerización se producen emisiones a la atmósfera, debido a la volatilidad de las sustancias activas y de sus componentes. La carga contaminante y la gama de agentes contaminantes es muy variable y depende de la temperatura de secado o polimerización, de la cantidad de sustancias volátiles en el baño de acabado, del sustrato y de los potenciales reactivos en la formulación.

Otro factor importante a considerar es la combustión del gas en la rame, ya que puede generar compuestos orgánicos no combustionados, CO, NOx y formaldehído.

2.9.3.2 Aspectos medioambientales asociados a los procesos de apresto discontinuo

Los procesos discontinuos se aplican principalmente en el apresto del hilo (concretamente en la producción de hilo de lana para alfombras).

Los agentes de acabado son aplicados en los baños de tintura o de aclarado después de la tintura; por eso, esta operación no implica un consumo adicional de agua.

Para las emisiones de contaminantes en el agua, el factor clave es la eficacia de la transferencia de la sustancia activa del baño a la fibra. Esta eficacia depende de la proporción de baño y de otros parámetros como el pH, la temperatura y el tipo de emulsión. Los contaminantes que se pueden encontrar en las aguas residuales varían según los aprestos aplicados.

2.10 Revestimiento y laminado

2.10.1 Procesos de recubrimiento y laminado

El recubrimiento de un tejido consiste en la aplicación del polímero directamente sobre el sustrato textil (como un líquido viscoso).

En cambio, cuando hablamos de un tejido laminado, se trata de uno o varios sustratos textiles, combinados, mediante el uso de colas o la aplicación de calor y presión, con una película o membrana de polímero preparada. El laminado con llama, de espumas, es la técnica más usada: una fina capa de espuma termoplástica preparada es expuesta a una llama antes de los cilindros de laminado. En este proceso no se requiere ninguna etapa de secado o de polimerización. Las emisiones al aire producidas durante este tratamiento pueden ser irritantes y pueden provocar reacciones alérgicas en personas susceptibles.

Según su composición química, los compuestos utilizados para el recubrimiento y el laminado pueden ser clasificados en:

- Agentes de recubrimiento en polvo.- Pueden basarse en poliolefinas (especialmente polietileno), poliamida 6, poliamida 6,6, copoliamidas, poliéster, poliuretano, PVC (policloruro de vinilo), y PTFE (politetrafluoretileno).
- Agentes de recubrimiento en pasta.- Pueden basarse en las sustancias químicas mencionadas anteriormente, pero contienen también aditivos, como agentes de dispersión (tensioactivos), agentes solubilizantes (glicoles, hidrocarburos), etc.
- Dispersiones de polímero (formulaciones acuosas).- Contienen aproximadamente un 50 % de agua y están basadas en policrilatos, ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, etc. También se utilizan los aditivos mencionados en los agentes de recubrimiento en pasta.
- Resinas de melamina.- Producidas por la reacción de melamina y formaldehído y su esterificación con metanol en medio acuoso (contenido en agua de 50-70 %).
- Dispersiones de polímeros (formulaciones basadas en disolventes orgánicos).- Se basan en el poliuretano y la silicona dispersados en disolvente orgánico.

2.10.2 Aspectos medioambientales

Los principales aspectos medioambientales que se desprenden de las operaciones de recubrimiento y laminado están relacionadas con las emisiones al aire que provienen de los disolventes, los aditivos y los subproductos contenidos en las formulas de los compuestos utilizados.

Destacan los siguientes:

2.10.2.1 Agentes de recubrimiento en polvo

A excepción de la poliamida 6 y sus copolímeros (se liberan monómeros residuales de - caprolactama), el potencial de emisión de estos agentes es, en la mayoría de casos, insignificante.

2.10.2.2 Agentes de recubrimiento en pasta

Las emisiones provienen principalmente de todos los aditivos contenidos. Principalmente son: alcoholes grasos, ácidos grasos y aminas grasas (tensioactivos); glicoles (emulgentes); alquifenoles (dispersantes); glicoles, hidrocarburos alifáticos y N-metilpirrolidona (agentes hidrotópicos); hidrocarburos alifáticos, ácidos grasos, sales grasas y amoniaco (espumantes); ftalatos, sulfonamidas y ésteres; ácido acrílico, acrilatos, amoniaco e hidrocarburos alifáticos (espesantes).

2.10.2.3 Dispersiones de polímeros (formulaciones acuosas)

La emisión potencial de las dispersiones de polímeros es relativamente baja comparada con la de los agentes de revestimiento en pasta. Las emisiones provienen de los dispersantes, de compuestos residuales de la polimerización y monómeros de reacciones incompletas durante la polimerización (particularmente relevantes en la contaminación del lugar de trabajo).

2.10.2.4 Resinas de melamina

Durante su aplicación, la reacción se inicia por un catalizador ácido y/o con altas temperaturas, liberando metanol y formaldehído.

2.10.2.5 Dispersiones de polímero (formulaciones basadas en solventes orgánicos)

Cuando se utiliza esta técnica, normalmente se instala un equipo de depuración de los gases de combustión basado en la incineración térmica o la adsorción con carbón activo.

2.11 Recubrimiento interior de alfombras

Es una etapa de la producción que se aplica para mejorar la estabilidad de las alfombras y moquetas. Además, la capa interior o de apoyo puede tener una influencia positiva sobre propiedades como la insonorización y el aislamiento térmico.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de recubrimientos:

2.11.1 Prerrecubrimiento

El material de recubrimiento consiste en una mezcla de:

- x-SBR látex, que es una dispersión que contiene un copolímero producido con estireno y butadieno
- Aprestos
- Agua
- Aditivos (antiespumantes, espesantes, etc.).

Durante la etapa posterior de secado se forma la capa elástica.

2.11.2 Recubrimiento espumoso de estireno-butadieno (SBR)

El recubrimiento espumoso consiste en la aplicación de una capa de espuma encima de una alfombra con prerrecubrimiento. Este proceso se realiza en dos pasos: aplicación de la espuma y solidificación de la espuma mediante secado. La espuma de SBR debe ser estabilizada antes de que se solidifique con la aplicación de calor. Para su estabilización se usan dos métodos diferentes: el proceso sin gel, que usa tensioactivos como estabilizadores de espuma, y el proceso con gel, que usa acetato amónico o fluoruro de silícico.

2.11.3 Recubrimiento espumoso de poliuretano (PU)

En este proceso, la alfombra se somete a una vaporización; posteriormente, en una cámara se rocían los componentes de poliuretano. El CO₂ producido durante la reacción química queda adherido en la espuma. La capa es reforzada en una zona de calefacción por infrarrojos y en una zona de reacción.

2.11.4 Recubrimiento interior textil

Consiste en el uso de un tejido textil sobre la alfombra prerrecubierta. La unión entre la alfombra y el tejido se obtiene con el uso de una capa de cola.

2.11.5 Recubrimiento grueso

El material de recubrimiento se aplica en capas. Después de la primera capa, que también puede servir como una capa de prerrecubrimiento, se agrega una trama de fibra de vidrio. Posteriormente se aplica la segunda capa de refuerzo.

Los materiales de refuerzo usados son APO (poliolefina atáctica), alquitrán enriquecido con aditivos orgánicos e inorgánicos, PVC y EVA (etileno vinilo acetato).

2.11.6 Aspectos medioambientales

Los aspectos medioambientales más destacados derivados del recubrimiento interior de alfombras son fundamentalmente las emisiones de compuestos volátiles que se pudieran generar en el proceso de secado de los productos utilizados para el recubrimiento.

2.12 Lavado

2.12.1 Lavado con agua

En el lavado con agua, los factores importantes que hay que tener en cuenta son: las características del agua, la elección de los jabones y detergentes, la acción hidromecánica, la temperatura, el pH y la etapa de aclarado.

Normalmente se realiza en agua caliente (40 -100 °C) en presencia de humectantes y detergentes. Las mezclas de tensioactivos aniónicos y no iónicos son las más usadas.

2.12.2 Limpieza en seco

El lavado con disolvente (generalmente percloroetileno) es necesario, a veces, para tejidos delicados. En el mismo lavado, también se pueden aplicar tratamientos suavizantes. En este caso, se agregan, junto al disolvente, agua y tensioactivos.

Las plantas que utilizan este método disponen de un sistema de tratamiento y recuperación del disolvente en el que es purificado por destilación y reutilizado para el siguiente proceso de lavado. El lodo resultante de la destilación debe ser tratado como residuo peligroso en caso de tener un contenido elevado en disolvente. Después de la destilación, el disolvente debe ser enfriado antes de poder utilizarse nuevamente, por lo que se necesita mucha agua fría. El agua de enfriamiento no se contamina con el disolvente y puede ser reutilizada.

Para separar posteriormente el disolvente del tejido existen dos tipos de circuitos diferentes:

- En las máquinas de circuito abierto, se toma una cantidad de aire del exterior, se calienta con un transformador de vapor y se introduce en la máquina, obteniendo la evaporación del

disolvente orgánico. El aire rico en disolvente se envía a un sistema de filtración con carbón activo.

- En el circuito cerrado, el volumen de aire usado para realizar el proceso de secado, en vez de ser filtrado y liberado a la atmósfera, es tratado internamente. Este tratamiento consiste en la recuperación del disolvente por condensación. El aire tratado es calentado por un transformador de calor y después enviado otra vez a la máquina. El disolvente recuperado es destilado y purificado.

2.12.3 Aspectos medioambientales

Los aspectos medioambientales más destacados derivados del lavado son, según si se trata de lavado con agua o bien lavado en seco, los siguientes:

- Lavado con agua: consumo de agua y generación de aguas residuales.
- Lavado en seco: emisión de compuestos orgánicos volátiles y generación de lodos residuales.

2.13 Secado

El secado es necesario para eliminar o reducir el contenido de agua de las fibras, hilos y tejidos después de los procesos en húmedo. Se trata de una etapa con un alto consumo de energía.

Las técnicas de secado se pueden clasificar en mecánicas o térmicas. La hidroextracción elimina el agua que contiene la fibra por vía mecánica. Los procesos térmicos consisten en el calentamiento del agua y su conversión en vapor. Este calor puede ser transferido mediante convección, radiación infrarroja, contacto directo y radiofrecuencia.

2.13.1 Secado de fibra en floca

El agua contenida en la fibra es reducida inicialmente mediante centrifugación o prensado antes de proceder al secado por evaporación.

2.13.2 Secado de madejas

El contenido de humedad de las madejas normalmente es reducido inicialmente mediante centrifugación antes de su secado por evaporación.

2.13.3 Secado de hilo bobinado

El contenido de humedad es reducido, al principio, mediante centrifugación. Para el secado posterior, actualmente se usan dos métodos diferentes: el secado con aire forzado y el secado por radiofrecuencia.

Los secadores de aire forzado operan haciendo circular aire caliente desde el interior de la bobina hacia el exterior a una temperatura de 100 °C, seguida por un condicionamiento en el que la humedad residual remanente es redistribuida a través de una corriente de aire que pasa del exterior al interior del paquete.

Los secadores de radiofrecuencia se basan en el principio de conducción, utilizando temperaturas inferiores, por lo que la eficiencia energética es mayor.

2.13.4 Secado del tejido

El proceso de secado para el tejido implica dos fases. En un primer paso se elimina el agua por vía mecánica, mientras que en el segundo se seca el tejido completamente con el uso de procesos térmicos.

2.13.4.1 Hidroextracción por contacto directo

El tejido es exprimido mediante dos o tres cilindros cubiertos de goma. Este proceso no puede ser aplicado a tejidos delicados.

2.13.4.2 Hidroextracción por succión

El tejido es transportado sobre «un tambor de succión» unido a una bomba. El aire externo es aspirado a través del tejido eliminando el exceso de agua. Queda todavía una humedad residual de aproximadamente el 90 %.

2.13.4.3 Hidroextracción por centrifugación

Este tipo de máquinas son similares a las utilizadas para la centrifugación de fibra en floca. Es el método más eficiente para la eliminación mecánica del agua, pero no puede ser aplicado en tejidos delicados propensos a formar arrugas permanentes.

2.13.4.4 Secado en rame

Esta máquina es usada para el secado total del tejido. Para producir la evaporación del agua se hace pasar una corriente de aire caliente a través del tejido. Las más comunes son la de tipo horizontal y de capas múltiples. La rame de capas múltiples no puede ser utilizada para tejidos delicados.

2.13.4.5 Secado en hot-flue

Esta máquina esta compuesta por una gran caja metálica en la que numerosos cilindros desvían el tejido para que corra una gran distancia (aproximadamente 250 m) dentro de la máquina. El aire interno es calentado mediante transformadores de calor y ventilado.

2.13.4.6 Secador de contacto

El tejido es secado por contacto directo con una superficie caliente. El tejido es estirado longitudinalmente sobre unos cilindros metálicos. Los cilindros se calientan internamente mediante vapor o llama directa.

2.13.4.7 Banda transportada

El tejido es transportado a través de un conjunto de módulos de secado. Dentro de cada módulo es secado mediante un flujo de aire caliente. Este equipo es usado normalmente para operaciones de secado final, cuando, junto con el secado, también se requiere un encogimiento.

2.13.4.8 Tumbler

Esta máquina puede ser usada para operaciones de lavado, de suavizado y de secado con tejido de calada o tejido de punto en forma de cuerda. Durante la fase de secado, el tejido en forma de cuerda es secado mediante un flujo de aire turbulento. De esta manera, el agua es en parte extraída mecánicamente y en parte evaporada.

2.13.5 Aspectos medioambientales

Los aspectos medioambientales más destacados derivados del secado de los tejidos son los siguientes:

- Importante consumo energético, ya sea si el secado es mecánico o a partir de calor
- Generación de emisiones a la atmósfera, aunque principalmente se traten de vapor de agua.

2.14 Comparativa de las técnicas utilizadas en España y en el resto de Europa

Prácticamente, todas las técnicas utilizadas en España, en cualquiera de los procesos de la industria textil (pretratamiento, tintura, estampación, acabados, aprestos, laminado, recubrimiento, lavado y secado), se utilizan también en Europa, y viceversa.

En este sentido, cabe destacar únicamente dos diferencias entre las técnicas utilizadas en España y las utilizadas en Europa:

En el pretratamiento del algodón, concretamente en la técnica de mercerizado, mientras que en España sólo se utiliza el mercerizado con sosa caustica, en Europa se utiliza también, aunque muy ocasionalmente (consta la existencia de una planta en Bélgica), el mercerizado con amonio.

Proceso	Técnica	España	Europa
Pretratamiento del algodón	Mercerizado con sosa caustica	x	x
	Mercerizado con amonio		x

Tabla 2.8. Diferencias en las técnicas aplicadas en el proceso de mercerizado del algodón, entre España y Europa

La segunda de las diferencias se observa en el pretratamiento de la lana, concretamente en la técnica de desgrasado, ya que mientras que en España sólo se utiliza el desgrasado con detergentes y álcalis, en Europa se utiliza, además de este, el desgrasado con disolventes.

Proceso	Técnica	España	Europa
Pretratamiento de la lana	Desgrasado utilizando detergentes y álcalis	x	x
	Desgrasado utilizando disolventes		x

Tabla 2.9. Diferencias en las técnicas aplicadas en el proceso de desgrasado de la lana, entre España y Europa.

3. NIVELES ACTUALES DE EMISIONES, Y CONSUMO DE ENERGÍA Y MATERIAS PRIMAS

La industria textil es un sector que se caracteriza por su elevado consumo de agua. La principal problemática ambiental, por tanto, se centra en los vertidos de agua residual generados y la carga contaminante que contienen. Otros aspectos ambientales que hay que considerar son el consumo de energía, las emisiones atmosféricas y la generación de residuos.

Las distintas corrientes residuales generadas en los procesos productivos de la industria textil son el resultado de la combinación de diferentes factores, como:

- Las fibras utilizadas
- Los tratamientos realizados
- Las técnicas aplicadas
- Las sustancias químicas y auxiliares utilizadas.

Por ello, y debido a la complejidad que supone la caracterización de los efluentes generados por las diferentes actividades que integran el sector textil, se han establecido las siguientes categorías:

- Desgrasado de lana
- Acabado textil
- Industria de las alfombras.

Para cada una de estas categorías se ha comparado el consumo de recursos y las corrientes residuales generadas. Esto permite llevar a cabo una evaluación preliminar con la que caracterizar cada categoría e identificar problemas clave que se derivan de ella, así como las diferencias entre actividades similares que se desarrollan en cada una de ellas.

En cuanto a las emisiones, cabe destacar la importación de tejidos «sucios» o contaminados (incluso como prendas ya confeccionadas), procedentes de países como China, India o Pakistán, que contribuyen a las emisiones de contaminantes del sector.

3.1 Desgrasado de la lana

La composición media de la lana cruda es la siguiente:

- 58,6 % de fibra de lana (lana desgrasada)
- 15 % de grasa
- 12 % de suciedad
- 5 % de churre
- 9,4 % de agua.

El desgrasado de la lana se puede realizar mediante dos sistemas: con agua y con disolventes orgánicos.

3.1.1 Limpieza y lavado con agua

Tal y como ya se ha descrito en el capítulo 2, los procesos de desgrasado pueden variar considerablemente. También existen diferencias significativas según el tipo de lana procesada (fina o gruesa) y su contenido en impurezas. Todos estos factores, junto con el sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas, condicionan la calidad del vertido, el consumo de agua, reactivos, energía, así como la producción de lodos.

En las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran los balances de masas correspondientes a diferentes fábricas de desgrasado de lana fina, lana gruesa y lana extrafina respectivamente.

LANA FINA	Fáb. F	Fáb. E	Fáb. G	Fáb. J	Fáb. N
Circuito de reutilización	No	Sí		Sí	
Reciclado	No	No		Sí (de la EDAR)	
Consumo de agua (l/kg de lana cruda)					
Total Bruto:	6,67	n.d.	6,3	n.d.	5
Del cual es reciclado:					
• del circuito de eliminación de la grasa	0	n.d.	3,33	n.d.	1,31
• del efluente de aclarado	0	0	0	0	0
• de la depuradora	0	0	0	2,37	2,38
Neto:	6,67	10	2,97	0,36	1,31
Detergente (g/kg de lana cruda)	7,78	15,83	5,96	4,5	6,15
Aditivos (g/kg de lana cruda)	4,2		n.d.	5,55	3,84
Grasa recuperada (g/kg de lana cruda)	34,5	71	27	19,1	34,6
% del total	25-30		20	20	25-30
DQO antes de depuradora (g/kg lana cruda)					
• del efluente de aclarado		13,4	n.d.	n.d.	7,35
• del efluente de desgrasado		n.d.	n.d.	n.d.	143

Tabla 3.1. Balances de masas del proceso de desgrasado de la lana fina

LANA GRUESA	Fáb. C	Fáb. H	Fáb. L
Circuito de reutilización	No	Sí	Sí
Reciclado	No	No	Sí (tanques aclarado)
Consumo de agua (l/kg de lana cruda)			
Total Bruto:	13,2	10,28	n.d.
Del cual es reciclado:			
• del circuito de eliminación de la grasa	0	5,71	n.d.
• del efluente de aclarado	0	0	n.d.
• de la depuradora	0	0	n.d.
Neto:	13,2	4,57	1,8
Detergente (g/kg de lana grasienta)	9,09	8	7
Aditivos (g/kg de lana grasienta)	7,09	1	7
Grasa recuperada (g/kg de lana grasienta)	0	13	7,5
% del total	0	25	15
DQO antes de depuradora (g/kg lana grasienta)			
• del efluente de aclarado	n.d.	4,46	1,6
• del efluente de desgrasado	n.d.	218,5	105,2

Tabla 3.2. Balances de masas del proceso de desgrasado de la lana gruesa

LANA EXTRAFINA (15-22 μ m)	Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4
Circuito de reutilización	Sí	Sí	Sí	Sí
Reciclado	No	No	No	No
Consumo de agua (l/kg de lana grasienta)				
Total Bruto:	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Del cual es reciclado:				
• del circuito de eliminación de la grasa	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
• del efluente de aclarado	0	0	0	0
• de la depuradora	0	0	0	0
Neto:	13,3	14	7,1	8,1
Detergente (g/kg de lana grasienta)	6,8	4,62	7,7	13,8
Aditivos (g/kg de lana grasienta)	12,3	15,2	12	20,3
Grasa recuperada (g/kg de lana grasienta)	30,9	42	31,7	32,5
% del total	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
DQO antes de depuradora (g/kg lana grasienta)				
• del efluente de aclarado	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
• del efluente de desgrasado	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fangos de depuradora (g/kg l.g.)	510	432	353	325

Tabla 3.3. Balance de masas del proceso de desgrasado de la lana extra fina

3.1.1.1 Consumo de agua

El consumo de agua para instalaciones tradicionales de desgrasado de lana se sitúa entre los 10 y los 15 l/kg. En instalaciones más modernas, los valores se reducen considerablemente.

Otro factor que desempeña un importante papel en el consumo neto de agua es el volumen de producción. La figura 3.1 muestra la relación entre el consumo neto de agua y el volumen de producción de la fábrica. Se observa una tendencia clara en la que a medida que aumenta la producción de la fábrica disminuye el consumo neto de agua. Esta tendencia se debe principalmente a dos motivos:

- La economía de escala: un mismo proceso aplicado en fábricas con diferentes producciones puede suponer consumos netos diferentes (mayores en aquellas fábricas con menor producción)
- Las fábricas con mayor producción, en principio pueden disponer de más medios para adquirir y utilizar tecnologías más avanzadas con menor consumo de agua.

El consumo neto de agua para el lavado (litros de agua por kg de fibra tratada) puede reducirse con la instalación de circuitos de recuperación del agua, mediante la separación por densidades de la grasa y la suciedad en general del agua, que se reintroducirá hacia los tanques de desgrasado. También se pueden aplicar métodos similares de reciclado para las aguas de aclarado, como por ejemplo la ultrafiltración o la evaporación de las aguas residuales y la posterior reutilización del condensado del vapor para la alimentación de los tanques de desgrasado y/o de aclarado.

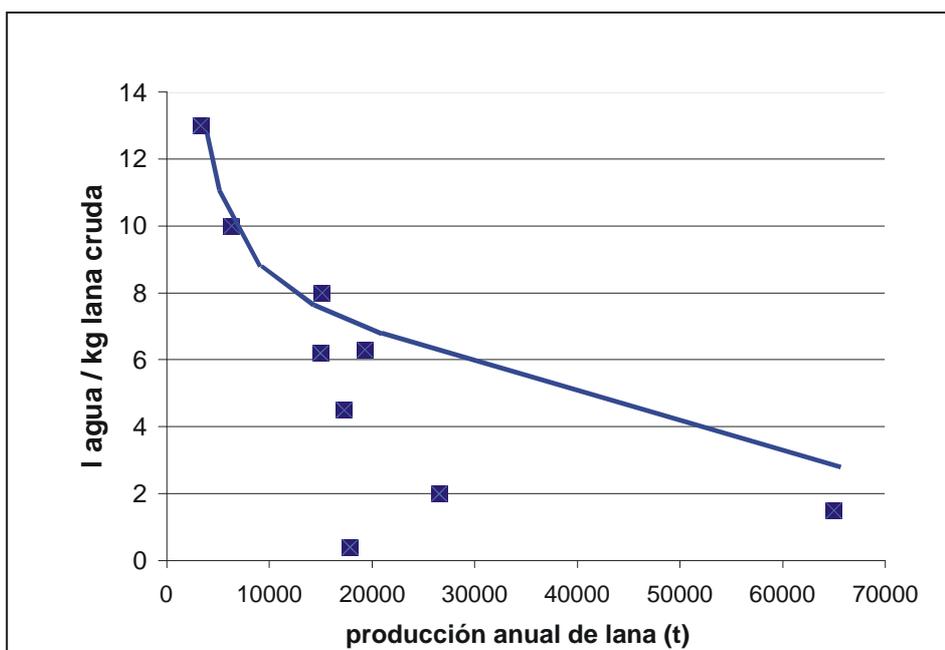


Figura 3.1 Consumo de agua en el desengrasado según producción de lana cruda

3.1.1.2 Recuperación de la grasa

Algunas fábricas de desgrasado de lana han incorporado plantas de recuperación de la grasa. Estas plantas pueden llegar a obtener de 8 a 71 kg de grasa por tonelada de lana procesada, con un promedio de 30. Las mayores tasas de recuperación corresponden a las fábricas de lana fina, ya que la lana gruesa contiene porcentajes inferiores de grasa en forma oxidada.

3.1.1.3 Utilización de reactivos

Los reactivos más utilizados en las plantas de desgrasado son los detergentes y los aditivos. Los detergentes más utilizados son alcoholes etoxilados o alcalifenoles etoxilados. Como aditivo se suele utilizar el carbonato de sodio y, en menor medida, el hidróxido sódico.

El consumo de alcoholes etoxilados se sitúa entre 3,5 y 16 gramos de detergente por kilogramo de lana procesada, mientras que el consumo de alcalifenoles etoxilados es de entre 5 y 16 g/kg. No consta en este aspecto la influencia de economías de escala, ni tampoco la mayor eficacia de uno u otro reactivo.

Por lo que respecta a los diferentes tipos de lana, para el desgrasado de lana fina se utilizan entre 5 y 10 gramos de detergente por kilogramo, mientras que para el desgrasado de lana gruesa el consumo se sitúa entre 3,5 y 16 g/kg.

La cantidad necesaria de detergente respecto a la lana cruda dependerá de su contenido en grasa y suciedad. Por ello, a más grasa y suciedad en la lana, mayor consumo de detergente y de agua, y mayor producción de aguas residuales.

La figura 3.2 muestra la relación entre la proporción de detergente usado por kilogramo de lana grasienta y la cantidad de aguas residuales generadas.

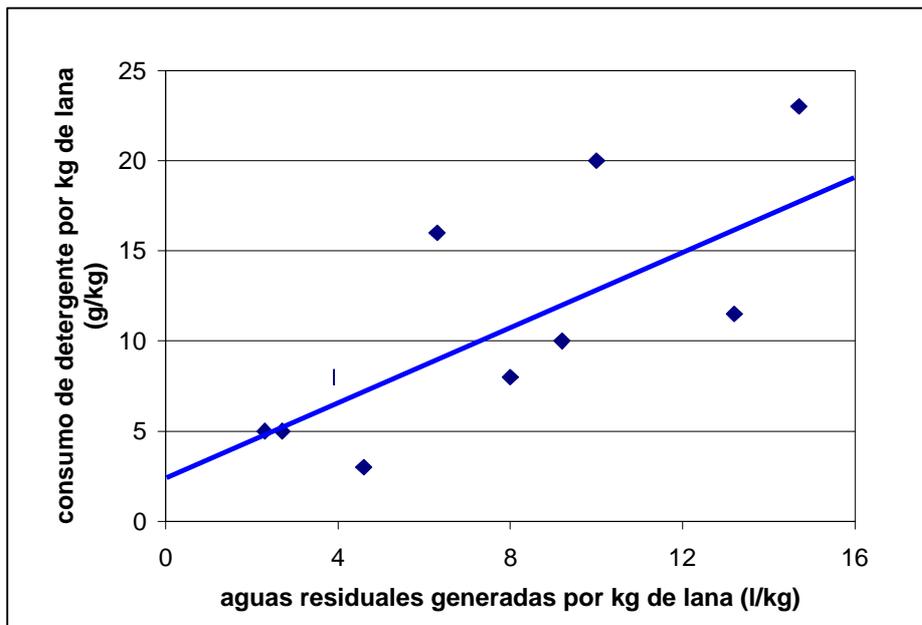


Figura 3.2. Relación entre el consumo de detergente y las aguas residuales

3.1.1.4 Consumo de energía

El consumo de energía en el lavado de la lana se produce principalmente en el calentamiento del agua de los baños. Por ello existe una estrecha relación entre el consumo de energía y el de agua. En la siguiente gráfica se muestra la relación entre los consumos de agua y de energía por kg de lana tratada.

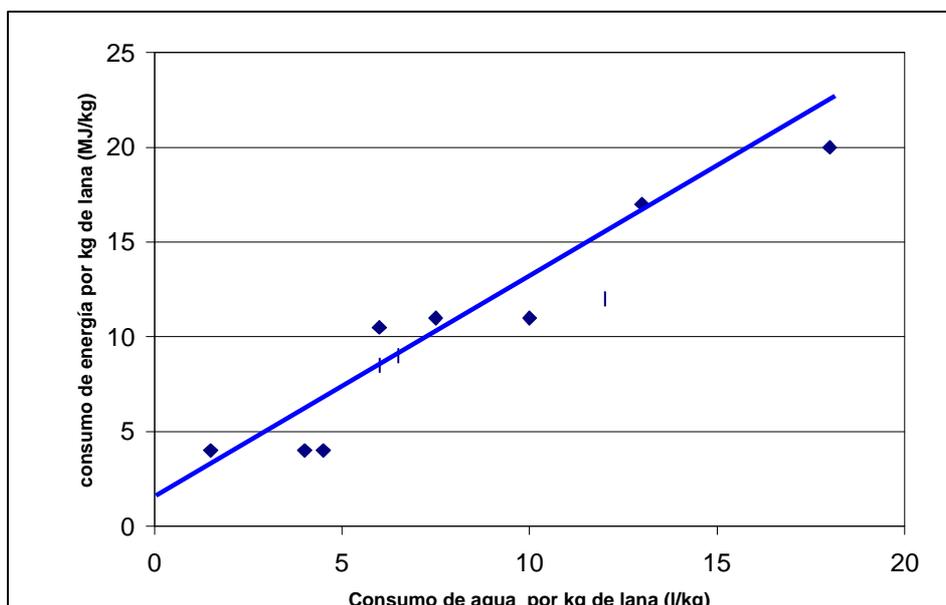


Figura 3.3. Relación entre el consumo de energía y el de agua

La energía consumida por kilogramo de lana desgrasada puede variar sustancialmente, al igual que el consumo de agua o de reactivos, en función del grado de suciedad y contenido en grasa de la lana cruda. Por ello, los consumos de energía pueden oscilar entre los 4,28 y 19,98 MJ por kilogramo de lana cruda (promedio de 9,29 MJ/kg).

3.1.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Las aguas residuales generadas en el proceso de desgrasado presentan valores de DQO de 150 a 500 g O₂/kg de lana cruda. Este valor depende del contenido en grasa de la lana cruda, así como de la eficacia del sistema de recuperación de grasa.

La tabla 3.4 muestra los datos disponibles acerca de los niveles de DQO después del tratamiento de las aguas residuales.

	Tratamiento in situ		DQO después de tratamiento in situ		Lodos	DQO después de tratamiento ex situ
	Baño de desgrasado	Baño de aclarado	mg O ₂ /l	g/kg	g/kg	g/kg
Sin descarga	Lagunaje anaeróbico + evaporación		0	0	55	0
Descarga directa	Ninguno		19.950	299		299
	Ninguno		19.950	299		299
	Evaporación (sin previa recuperación de grasa)		260	3,4	315	3,4
Descarga indirecta	Evaporación + Biorreactor	Aireación prolongada (4-5 días)	120	0,2	75	0,2
	Floculación en hidrociclón	Ninguno	9.000	73	233	14,6
	Floculación y decantación por centrifugación	Ninguno	15.000	60	145	12,0
	Floculación y decantación por centrifugación		3.900	33	135	6,6
	Degradación en medio ácido	Ninguno	4.000	42	154	8,4
	Filtro de prensa	Ninguno	4.000	42	154	8,4
Descarga indirecta	Aireación (4-5 días)		2.800	25	113	5,0
	Evaporación	Reciclado del concentrado mediante ultrafiltración	500	1,3	185	0,3

Tabla 3.4. Descripción de los procesos de tratamiento de los efluentes, y DQO y producción de lodos asociada.

3.1.1.6 Generación de lodos

La producción de lodos derivados del tratamiento de las aguas residuales del lavado de la lana es, por lo general, de entre 100 y 300 kg/t de lana cruda.

En el caso de que las aguas residuales sean tratadas en un sistema de lagunaje anaeróbico, y posteriormente se sometan a una evaporación, la producción de lodo se puede reducir a 55 kg/t (sin considerar el lodo generado en la laguna anaerobia). Si por el contrario el efluente se somete primero a un tratamiento biológico aerobio, posteriormente a una evaporación y finalmente a una incineración, la producción de residuos se reduciría a 20 kg/t de cenizas más 75 kg/t de lodos correspondientes al tratamiento biológico previo.

3.1.1.7 Pesticidas

El contenido en pesticidas en la lana cruda se sitúa entre 2 y 15 mg de ectoparasitocidas por kg de lana cruda.

Los estudios existentes sobre los ectoparasitocidas en el desgrasado de la lana indican que:

- El 96 % de los pesticidas se eliminan de la lana en el proceso de desgrasado: un 4 % permanece aún en la fibra después del desgrasado
- De este 96 %, un 30 % es retenido en los procesos de recuperación de grasa
- La fracción restante (66 %) queda retenida en el efluente.

En la tabla 3.5 se compara la carga contaminante del efluente antes y después del tratamiento.

Planta tipo	Eliminación (%) en el efluente de la planta de tratamiento						
	Grasa	DQO	SS	OC	OP	SP	Total pesticidas
CF/Fe	86	84	89	83	88	94	88
CF/ácido	89	73	89	69	78	40	77
HAC	82	70	75	72	75	75	75
BF/Fe	93	75	83	96	56	71	59
CF	73	70	75	76	91	94	91
HBF/Fe	96	83	94	90	92	89	92
Evap	100	99	100	97	72	100	78

CF: floculación continua

HBF: floculación discontinua en caliente

BF: floculación discontinua

HAC: degradación en medio ácido en caliente

Evap: evaporación

DQO: demanda química de oxígeno

SS: sólidos en suspensión

SP piretroides sintéticos

OC compuestos organoclorados

OP compuestos organofosfatados

Tabla 3.5. Rendimiento de algunas plantas de depuración en la eliminación de la grasa, la DQO, los sólidos en suspensión y los ectoparasiticidas

La figura siguiente muestra el consumo de recursos, así como las corrientes residuales generadas en el lavado de una tonelada de lana cruda con agua.

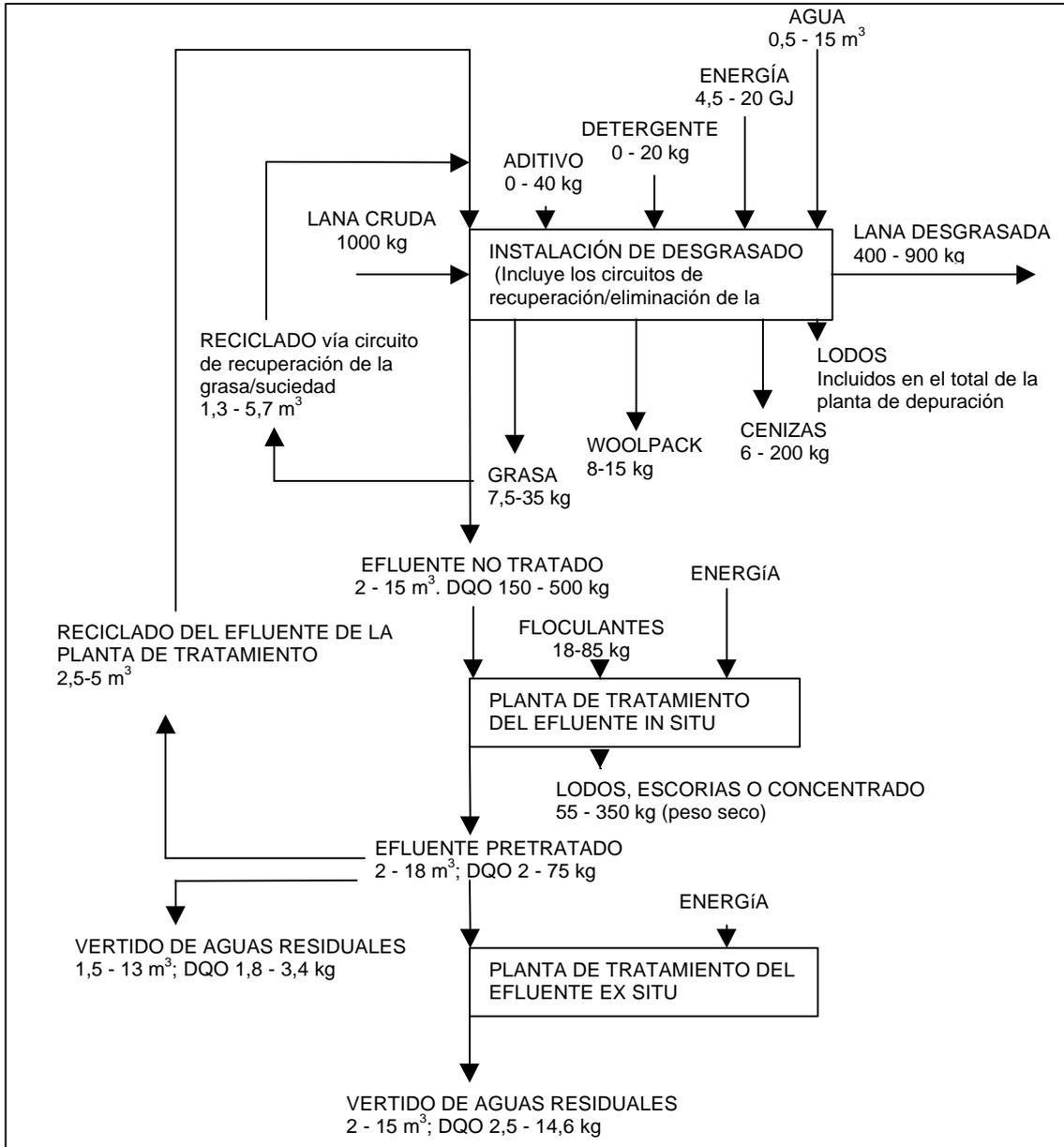


Figura 3.4. Balance de masas en un supuesto proceso de desgrasado de lana

3.1.2 Lavado con disolvente

En algunos casos aislados, el proceso de desgrasado de la lana se realiza con la aplicación de disolventes orgánicos. En la tabla 3.6 se muestran los inputs y los outputs del proceso de limpieza y lavado de la lana con disolvente. Estos se han calculado considerando una planta del tipo Wooltech, con una producción de 500 kilogramos de fibra de lana limpia por hora.

		Consumo		Input/Output referido a la producción de		
		500 kg/h de lana limpia	Unidades	1 kg de lana cruda	1 kg de lana desgrasada	Unidades
INPUTS						
Agua	Total	124	kg/h	0,145	0,219	kg
	Humedad de lana	20	kg/h	0,023	0,035	kg
	Aire húmedo	4	kg/h	0,005	0,007	kg
	Vapor de agua	100	kg/h	0,117	0,177	kg
Disolvente	Tricloroetileno	10	kg/h	11,7	17,7	g
Energía	Electricidad	207	kWh	0,243	0,368	kWh
	Gas natural	674	MJ/h	0,79	1,19	MJ
OUTPUTS						
Lana limpia seca	Total	563,1	kg/h	660	1000	g
	Fibra de lana	500	kg/h	586	888	g
	Humedad de lana	60	kg/h	70	106	g
	Grasa	0	kg/h	0	0	g
	Suciedad	0,8	kg/h	0,9	1,4	g
	Churre	2,3	kg/h	2,7	4,1	g
	Pesticida (total)	Nulo	kg/h	Nulo	Nulo	g
	Tricloroetileno	0	kg/h	0	0	g
Suciedad	Total	109,3	kg/h	128	194	g
	Suciedad	98	kg/h	114,9	174	g
	Grasa	7	kg/h	8,21	12,4	g
	Churre	4,3	kg/h	5,04	7,64	g
	Pesticida (total)	0,000138	kg/h	0,00016	0,00024	g
	Tricloroetileno	0	kg/h	0	0	g
Grasa	Total	160,2	kg/h	188	285	g
	Grasa	121	kg/h	141,9	215	g
	Suciedad	3,2	kg/h	3,75	5,68	g
	Churre	36	kg/h	42,2	64	g
	Pesticida (total)	0,00256	kg/h	0,003	0,00454	g
	Tricloroetileno	0	kg/h	0	0	g
Emisiones de agua	Total	124	kg/h	0,145	0,22	kg
	Agua	124	kg/h	0,145	0,22	kg
	Tricloroetileno	0	kg/h	0	0	g
Emisiones al aire	Total	643,01	kg/h	0,765	1,157	kg
	Aire	643	kg/h	0,754	1,14	kg
	Tricloroetileno	0,01	kg/h	0,011	0,017	g
No capturado	Tricloroetileno	5	kg/h	5,86	8,88	g

Tabla 3.6. Inputs y outputs estimados en el sistema de limpieza Wooltech

3.2 Industria de acabado del textil

La industria del acabado textil comprende fundamentalmente tres subsectores que se desarrollarán a continuación. Son:

- Acabados de hilados y/o en floca
- Acabados de tejido de punto
- Acabados de tejido de calada.

3.2.1 Acabados de hilados y/o en floca

Los acabados de hilados pueden ser muy diversos. A continuación se exponen los consumos de recursos y generación de efluentes residuales de los diferentes procesos existentes.

3.2.1.1 Acabados en floca

En la siguiente tabla se exponen los datos correspondientes a las aguas residuales generadas en dos fábricas de acabados de hilados de viscosa, poliéster, acrílico y algodón.

		Fábrica 1	Fábrica 2
Generación de aguas residuales (l/kg producto)		34	10
DQO	Concentración (mg O₂/l)	1945	1300
	Factor emisión (g/kg producto)	67	13
DBO₅	Concentración (mg O₂/l)	850	370
	Factor emisión (g/kg producto)	29	4
Hidrocarburos	Concentración (mg/l)	12,4	
	Factor emisión (g/kg producto)	0,4	
Conductividad (mS/cm)		14,9	
T (°C)		40	
Cu	Concentración (mg/l)	1,2	0,05
	Factor emisión (mg/kg producto)	41	0,5
Cr	Concentración (mg/l)	0,13	0,2
	Factor emisión (mg/kg producto)	5	2
Ni	Concentración (mg/l)		<0,02
Zn	Concentración (mg/l)	0,71	0,3
	Factor emisión (mg/kg producto)	25	3

Tabla 3.7. Concentraciones de contaminantes en las aguas residuales de dos fábricas de acabado en floca de viscosa, poliéster, acrílico o algodón

3.2.1.2 Acabados de mechas/floca e hilados de lana

En la tabla 3.8 se muestra el consumo de recursos, así como las corrientes residuales generadas en tres fábricas de tintura de lana, y una fábrica de hilado y tintura de lana.

	Fábrica 1	Fábrica 2	Fábrica 3	Fábrica 4	
Producción	Mechas 64 % Madejas 16 % Bobinas 20 %	Mechas 80 % Flocados 20 %	Mechas 92 % Madejas 4 % Bobinas 4 %	Mechas 52 % Madejas 41 % Bobinas 7 %	
INPUTS					
Consumo de agua (l/kg)	39,9	43,6	35,6	180	
Energía eléctrica (kWh/kg)	0,6	0,7	0,5	1,1	
Energía térmica (MJ/kg)	12,3	11,4	28	26,5	
Tintes (g/kg)	15	36,2	12,2	26,6	
Auxiliares (g/kg)	9,4	23,9	111,2	142	
Sustancias químicas básicas (g/kg)	48,5	86,9	285,6	147	
EMISIONES DE AGUA					
DQO	Concentración (mg O ₂ /l)	727	505	1292	360
	Factor emisión (g/kg producto)	29	22	46	65
Cu	Concentración (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01
	Factor emisión (mg/kg producto)	<2	<2	<2	<2
Cr	Concentración (mg/l)	1,7	2,8	1,8	0,2
	Factor emisión (mg/kg producto)	70	124	64	36
Ni	Concentración (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01
	Factor emisión (mg/kg producto)	<2	<2	<2	<2
Zn	Concentración (mg/l)	0,3	1,2	1,0	0,3
	Factor emisión (mg/kg producto)	12	52	36	54
RESIDUOS					
Residuos sólidos (g/kg)	11	21	15		
Lodos (g/kg)	8	9	24	172	
Aceites lubricantes (g/kg)	0,04	0,09			

Tabla 3.8. Consumo y niveles de emisión de cuatro fábricas de acabado de mechas/hilados de lana

La variación de los valores de los diferentes parámetros en las cuatro fábricas se debe principalmente a las diferencias de las actividades productivas

3.2.1.3 Acabados de hilados de algodón

En la siguiente tabla se muestran las corrientes residuales generadas en cuatro fábricas de acabados de hilados de algodón.

		Fábrica 1	Fábrica 2	Fábrica 3	Fábrica 4
Generación de aguas residuales (l/kg)		105	108	120	215
DQO	Concentración (mg O ₂ /l)	690	632	805	365
	Factor emisión (g/kg)	73	69	97	78
DBO ₅	Concentración (mg O ₂ /l)	260	160	200	98
	Factor emisión (g/kg)	27	17	24	21
AOX	Concentración (mg Cl/l)			0,36	
	Factor emisión (g/kg)			0,04	
Hidrocarburos	Concentración (mg/l)	< 0,5	1,2		
	Factor emisión (g/kg)	< 0,05	0,1		
pH				9,8	
Conductividad (mS/cm)		7	6,2		
T (°C)		27,3	33,5		
NH ₄	Concentración (mg/l)			0,6	
	Factor emisión (g/kg)			0,07	
N _{Ora}	Concentración (mg/l)			11,1	
	Factor emisión (g/kg)			1,3	
N _{Tot}	Concentración (mg/l)				10,1
	Factor emisión (g/kg)				2,2
P _{Tot}	Concentración (mg/l)				2,1
	Factor emisión (g/kg)				0,45
Cu	Concentración (mg/l)	0,19	0,12	0,13	0,1
	Factor emisión (mg/kg)	20	13	16	21,5
Cr	Concentración (mg/l)		< 0,05		0,02
	Factor emisión (mg/kg)		< 6		4,3
Ni	Concentración (mg/l)	0,32	< 0,1		
	Factor emisión (mg/kg)	34	< 11		
Zn	Concentración (mg/l)				0,2
	Factor emisión (mg/kg)				43

Tabla 3.9. Factores de emisión de las aguas residuales de cuatro fábricas de acabado de hilados de algodón

Los consumos promedio de reactivos en este subsector son los siguientes:

- Colorante (25 g por kg de sustrato textil).
- Auxiliares (70 g por kg de sustrato textil).
- Sustancias químicas básicas (400 g por kg de sustrato textil).

El consumo total de energía de estas fábricas es de aproximadamente 11 kWh/kg.

El consumo de agua es moderadamente alto, y puede variar hasta en un 100 % de una fábrica a otra.

En cuanto a las aguas residuales generadas, se observa las diferencias de DQO en diferentes casos, asociadas al uso de determinados colorantes. Las fábricas 1 y 2 usan principalmente colorantes reactivos y presentan una DQO considerablemente inferior a la de la fábrica 3, que utiliza predominantemente colorantes de tina.

3.2.1.4 Acabados de hilados de poliéster

Los consumos promedio de reactivos y de energía en esta actividad son los siguientes:

- Colorantes (18-36 gramos por cada kilogramo de sustrato textil).
- Auxiliares (80-130 gramos por cada kilogramo de sustrato textil).
- Sustancias químicas básicas (95-125 gramos por cada kilogramo de sustrato textil).
- Energía total consumida: 11-18 kWh/kg.

En la siguiente tabla se muestran los valores de emisión de las aguas residuales de ocho fábricas de acabados con hilados de poliéster.

		Fáb 1	Fáb 2	Fáb 3	Fáb 4	Fáb 5	Fáb 6	Fáb 7	Fáb 8
Generación de aguas residuales (l/kg)		125	65	66	148	75	64	102	171
DQO	Conc. (mg O₂/l)	870	1917	1520	655		1320	1140	2280
	F. Emis. (g/kg)	109	125	100	97	83	85	116	390
DBO₅	Conc. (mg O₂/l)	139		380	169		562	588	910
	F. Emis. (g/kg)	17		25	25		36	60	156
AOX	Conc. (mg Cl/l)	0,7	1,26	0,45	0,65				
	F. Emis. (g/kg)	0,09	0,08	0,03	0,10				
Hidrocarburos	Conc. (mg/l)		19			15			
	F. Emis. (g/kg)		1,24						
pH		8,2		7,7	8,6		7,7	7,7	7,5
Conductividad (mS/cm)		1,9		5	3				
T (°C)		24	26	44	35				
NH₄	Conc. (mg/l)	31,2		8,2	7,6		43	16	
	F. Emis. (g/kg)	3,9		0,54	1,12		2,77	1,63	
N_{Org}	Conc. (mg/l)	13		17,3	9,5				
	F. Emis. (g/kg)	1,63		1,14	1,41				
N_{Total}	Conc. (mg/l)						101	44	
	F. Emis. (g/kg)						6,5	4,5	
Cu	Conc. (mg/l)				0,05				
	F. Emis. (mg/kg)				7,4	2			
Cr	F. Emis. (mg/kg)					7			
Ni	F. Emis. (mg/kg)					2			
Zn	F. Emis. (mg/kg)					22			

Tabla 3.10. Valores de concentración y factores de emisión de las aguas residuales de ocho empresas de acabados de poliéster

El elevado consumo de agua de la fábrica 8 se debe a que la empresa trabaja los hilados en forma de madejas y también a que somete algunos hilados de algodón a un mercerizado o al teñido con colorantes azoicos (ambas operaciones necesitan grandes cantidades de agua).

Las fábricas de acabados del poliéster presentan generalmente un alto nivel de DQO (97-125 g/kg) atribuible al uso de los colorantes dispersos y a la eliminación de los agentes de preparación antes del teñido.

3.2.1.5 Acabados de hilados: principalmente lana, acrílico y/o viscosa

Los consumos en reactivos y energía de esta actividad son los siguientes:

- Colorantes (13-18 g/kg de sustrato textil)
- Auxiliares (36-90 g/kg de sustrato textil)
- Sustancias químicas básicas (85-325 g/kg de sustrato textil)
- Consumo de energía (4-17 kWh/kg).

En la siguiente tabla se muestran los valores de emisión de siete fábricas de acabados con hilados constituidos por lana, acrílico y viscosa.

		Fáb 1	Fáb 2	Fáb 3	Fáb 4	Fáb 5	Fáb 6	Fáb 7
Generación de aguas residuales (l/kg)		120	212	167	66	74	43	95
DQO	Conc. (mg O₂/l)	590	480	584	782	1023		
	F. Emis. (g/kg)	70,8	102	97,5	51,6	75,7	35	47
DBO₅	Conc. (mg O₂/l)	190	170	265	355	220		
	F. Emis. (g/kg)	22,8	36	44,2	23,4	16,3		
AOX	Conc. (mg Cl/l)		0,4	0,76		0,17		
	F. Emis. (g/kg)		0,08	0,13		0,01		
pH			7,7	6,9	7,3	6,8		
Conductividad (mS/cm)				4,4				
T (°C)				41				
NH₄	Conc. (mg/l)		4,6					
	F. Emis. (g/kg)		0,98					
N_{org}	Conc. (mg/l)		11,2	16,6		22,8		
	F. Emis. (g/kg)		2,37	2,77		1,69		
Cu	Conc. (mg/l)		0,02	< 0,01				
	F.Emis. (mg/kg)		4,2	1,7			< 2	< 2
Cr	Conc. (mg/l)		0,03	< 0,1	0,38	1,2		
	F. Emis. (mg/kg)		6,4	16,7	25,1	88,8	34	28
Ni	Conc. (mg/l)			< 0,1		0,01		
	F. Emis. (mg/kg)			16,7		0,7	< 2	< 2
Zn	Conc. (mg/l)			0,63		0,47		
	F. Emis. (mg/kg)			105,2		34,8	39	10

Tabla 3.11. Valores de concentración y emisión de las aguas residuales de siete fábricas de acabado de lana/acrílico/viscosa

3.2.1.6 Análisis de algunos procesos específicos relevantes de las fábricas de acabado de hilados y/o flocados

La gran variedad existente de procesos y baños da lugar a efluentes de características muy distintas. Esta circunstancia se evidencia en el comportamiento de la DQO, el pH, la conductividad, la temperatura y el color (determinado por coeficientes de absorción espectral, SAC, a longitudes de onda de 435 nm, 500 nm y 620 nm) en las aguas residuales generadas en tres procesos diferentes de teñido:

- Tintura por agotamiento de hilados de viscosa con colorantes activos (tabla 3.12)
- Tintura por agotamiento de hilados de poliéster con tintes dispersos (tabla 3.13)
- Tintura por agotamiento de hilados de algodón con tintes de tina (tabla 3.14).

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de DQO, pH, conductividad, temperatura y color de las emisiones de los diferentes baños resultantes de la tintura por agotamiento de hilados de viscosa con tintes reactivos:

Nº baños	Tipo de baño	DQO (mg O ₂ /l)	pH	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	SAC 435 nm (l/m)	SAC 500 nm (l/m)	SAC 620 nm (l/m)
1	Baño de tinte por agotamiento	3170	10,2	35,1	48	27	13	2
2	Baño de aclarado	550	10,1	11,7	42	14	10	3
3	Baño de neutralización	1220	4,4	3,8	44	4	4	1
4	Baño jabonoso	4410	6,2	2,4	57	16	11	4
5	Baño de aclarado	1040	7,1	0,9	59	7	5	3
6	Baño de aclarado	320	7,3	0,5	60	10	8	5
7	Baño de aclarado	190	7,4	0,3	49	7	6	4
8	Baño con suavizante	790	4,4	0,6	35	0	0	0

Tabla 3.12. Valores de emisión de las descargas de los diferentes baños de la tintura por agotamiento de hilados de viscosa con tintes reactivos

En la siguiente tabla se muestran los valores de DQO, pH, conductividad, temperatura y color, de las emisiones de los diferentes baños resultantes de la tintura por agotamiento de hilados de poliéster con tintes dispersos:

Nº baños	Tipo de baño	DQO (mg O ₂ /l)	pH	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	SAC 435 nm (l/m)	SAC 500 nm (l/m)	SAC 620 nm (l/m)
1	Baño de pretratamiento	610	7,4	20	134	3,9	2,7	1,4
2	Baño de tinte por agotamiento	10320	5,0	3,4	130	290	375	125
3	Baño de aclarado	1310	7,2	0,6	85	51	78	8,6
4	Tratamiento posterior reductor	3610	9,5	6,1	89	18	11	6,3
5	Baño de aclarado	615	9,2	1,4	84	6,3	4,2	2,7
6	Baño de aclarado	140	8,6	0,5	66	0,9	0,7	0,3
8	Baño con suavizante	2100	7,2	0,5	55	23,6	17,9	11,8

Tabla 3.13. Valores de emisión de las descargas de los diferentes baños de la tintura por agotamiento de hilados de poliéster con tintes dispersos

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de DQO, pH, conductividad, temperatura y color, de las emisiones de los diferentes baños resultantes de la tintura por agotamiento de hilados de algodón con tintes tina.

Nº baños	Tipo de baño	DQO (mg O ₂ /l)	pH	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)	SAC 435 nm (l/m)	SAC 500 nm (l/m)	SAC 620 nm (l/m)
1	Baño tintura por agotamiento	14340	12,9	46	70	254	191	190
2	Sobranante de aclarado	6120	12,6	24	46	95	59	59
3	Aclarado	1900	12,2	12,7	34	9	8	7
4	Baño oxidante	4780	11,7	5,6	51	4	3	2
5	Baño de aclarado	580	10,6	2	32	1	1	1
6	Baño con detergente	1510	10	2,3	55	4	4	5
7	Baño de aclarado	230	9,3	1,5	36	2	2	2
8	Baño con detergente	860	10,1	3,4	74	4	3	2
9	Baño de aclarado	47	8,9	1,2	37	1	1	1
10	Baño de aclarado	27	8,5	1	31	0,5	0,5	0,4
11	Baño con suavizante	1740	4,7	1,2	45	17	11	6

Tabla 3.14. Tintura por agotamiento de hilados de algodón con tintes de tina

De la comparación de los datos anteriores, se desprende que:

- La DQO del baño de tintura por agotamiento es considerablemente menor cuando se utilizan colorantes reactivos que cuando se utilizan colorantes dispersos o colorantes tina
- En el baño con suavizante, la elevada concentración de DQO indica el bajo nivel de agotamiento de los suavizantes.

Las tablas 3.15 y 3.16 muestran los rangos observados de consumo de agua y de energía en los procesos de tintura de la fibra en floca y de hilados respectivamente.

TINTURA DE LA FIBRA EN FLOCA	Electricidad (kWh/kg)	Energía térmica (MJ/kg)	Agua para tintura (l/kg)	Agua para aclarado (l/kg)
Lana (colorantes ácidos, con cromo o premetalizados)	0,1-0,4	4-14	8-15	8-16
Acrílico (colorantes catiónicos)	0,1-0,4	4-14	4-12	4-16
Poliéster (colorantes dispersos)	0,1-0,4	4-14	6-15	12-20
Algodón (colorantes directos y reactivos)	0,1-0,4	4-14	8-15	8-32
Poliamida (colorantes directos y ácidos)	0,1-0,4	4-14	6-15	6-12

Tabla 3.15. Consumo de agua y energía en el teñido de la fibra en floca

TINTURA DE HILADOS	Electricidad (kWh/kg)	Energía térmica (MJ/kg)	Agua para tintura (l/kg)	Agua para aclarado (l/kg)
Lana/Poliamida (colorante no especificado)	0,8-1,1	13-16	15-30	30-50
Acrílico (colorantes no especificados)	0,8-1,1	13-16	15-30	30-50
Algodón (colorantes directos)	0,8-1,1	13-16	15-30	45-60
Algodón (colorantes reactivos)	0,8-1,1	13-16	15-30	60
Algodón (colorantes sulfurosos)	0,8-1,1	13-16	100-150	

Tabla 3.16. Consumo de agua y energía en la tintura de hilados

3.2.2 Acabados de tejido de punto

Los acabados de tejido de punto dependen principalmente de la naturaleza del tejido: lana, algodón o fibras sintéticas. A continuación se exponen los consumos de recursos y generación de efluentes residuales de los diferentes procesos existentes.

3.2.2.1 Acabados de tejido de punto de algodón

Las cantidades aproximadas de reactivos empleados en esta actividad son:

- Colorantes: 18 g/kg de sustrato textil
- Auxiliares: 100 g/kg de sustrato textil
- Sustancias químicas básicas: 570 g/kg de sustrato textil, principalmente sales neutras (alrededor de 400 g/kg).

El consumo de energía es de 6-17 kWh/kg

En la tabla 3.17 se exponen los datos correspondientes a las aguas residuales generadas en diecisiete fábricas de este subsector.

	Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4	Fáb. 5	Fáb. 6	Fáb. 7	Fáb. 8	Fáb. 9	Fáb. 10	Fáb. 11	Fáb. 12	Fáb. 13	Fáb. 14	Fáb. 15	Fáb. 16	Fáb. 17	
Generación aguas residuales (l/kg)	67	60	101	67	78	79	120	77	21	71	133	75	88	136	87	96	216	
DQO	Conc. (mg O₂/l)	1210	1340	748		931	954	673	1010	2281	1502	814	804	911	439	658	1004	390
	F. Emis. (g/kg)	81	80	76		73	75	81	78	48	107	108	60	80	60	57	96	84
DBO₅	Conc. (mg O₂/l)	409	622	174	444	289	408	175	453	788	671	218		390	127	259	166	113
	F. Emis. (g/kg)	27,4	37,3	17,6	29,7	22,5	32,2	21	34,9	16,5	47,6	29,0		34,3	17,3	22,5	15,9	24,2
AOX	Conc. (mg Cl/l)																0,3	0,21
	F. Emis. (g/kg)																0,03	0,05
HC	Conc. (mg/l)	9,3	18,9	8,3	5	23,7	21,9	6,8	19,2	11,2	32	6,1	0,9	14,3	6,2	18,5		6,1
	F. Emis. (g/kg)	0,6	1,1	0,8	0,3	1,8	1,7	0,8	1,5	0,2	2,3	0,8	0,1	1,3				
Conductividad (mS/cm)	3,5	4,4	6,5	4,6	10,1	4,7	8,1	2,9	2,7	3,8	2,26	6,3	6,1	5,1	11,1			
T (°C)	34	30	38	36	33,8	33	35	28,6	39	29,3	21	20	24	31	30			
NH₄	Conc. (mg/l)																9	1
	F. Emis. (g/kg)																0,9	0,2
N_{org}	Conc. (mg/l)															25	14,3	22
	F. Emis. (g/kg)															2,2	1,4	4,8
Cu	Conc. (mg/l)	0,1	0,11	0,23	0,05	0,12	0,1	0,19	0,1		0,22	0,25		0,1	0,11	0,1		0,3
	F. Emis. (mg/kg)	7	7	23	3	9	8	23	8		16	33		9	15	9		65
Cr	Conc. (mg/l)	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1		0,2	0,05	0,1	0,1	0,1			
	F. Emis. (mg/kg)	7	6	5	3	8	8	6	8		14	7	8	9	14			
Zn	Conc. (mg/l)	0,2	0,33	0,37	0,1	0,2	0,14	0,1	0,2	0,37	0,26		0,1	0,12	0,12	0,2		0,3
	F. Emis. (mg/kg)	13	20	37	7	16	11	12	15	8	18		8	11	16	17		65

Tabla 3.17. Factores de emisión de aguas residuales de diecisiete fábricas de acabados

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- Producción de aguas residuales de entre 60 y 136 l/kg
- DQO de entre 70 y 85 g/kg
- Emisiones de metales pesados despreciables.

3.2.2.2 Estampación en tejidos de punto de algodón acabado

En este capítulo se caracterizan las aguas residuales generadas en las actividades de estampación (principalmente con pigmentos) de tejido de punto. En la tabla 3.18 se exponen los datos correspondientes a las aguas residuales generadas en doce fábricas de este subsector.

	Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4	Fáb. 5	Fáb. 6	Fáb. 7	Fáb. 8	Fáb. 9	Fáb. 10	Fáb. 11	Fáb. 12	
Generación aguas residuales (l/kg)	6	15	42	1,1	0,4	35	0,4	2	0,9	2	2	3	
DQO	Conc. (mg O₂/l)	233	391	170	296	376	17	1027	639	713	666	351	1196
	F. Emis. (g/kg)	1,4	6	7	0,3	0,2	0,6	0,4	1,3	0,6	0,6	0,7	3,3
DBO₅	Conc. (mgO₂/l)			105									
	F. Emis. (g/kg)			4,4									
Hidro-carburos	Conc. (mg/l)	0,9	0,3	1,2	0,7	1	0,2	10,3	14,4		1,7	0,9	11,2
	F. Emis. (g/kg)	0,01	0,005	0,05	0,001	0,0004	0,01	0,004	0,03		0,003	0,002	0,03
Conductividad (mS/cm)	1,3	1	2,6	0,7	3	2,6	1,3	1,4	0,9	3,3	1,3	1,1	
T (°C)	11,9	18,9	16,2	17,2	10,6	17,2	14,5	15,9	13,2	19	17,6	17	
Cu	Conc. (mg/l)	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1	0,1	0,6	0,07	<0,1	<0,1	<0,1
	F. Emis. (mg/kg)	0,30	1,50	4,20	0,11	0,02	3,50	0,04	1,20	0,06	0,20	0,20	0,30
Cr	Conc. (mg/l)	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	F. Emis. (mg/kg)	0,3	1,5	4,2	0,1	0,02	3,5	0,04		0,1	0,2	0,2	0,3
Zn	Conc. (mg/l)	0,19	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	0,3	0,2
	F. Emis. (mg/kg)	1	1,5	13	0,11	0,04	4	0,04		0,09	0,20	0,6	0,6

Tabla 3.18. Factores de emisión de las aguas residuales de doce fábricas de acabado de tejido de punto de algodón (principalmente) con una sección de estampación importante

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- Producción baja de aguas residuales (inferior a 10 l/kg) debido a que el agua solamente se utiliza para los trabajos de limpieza
- DQO muy variable, aunque moderada, de entre 200 y 1000 mg/l
- Emisiones despreciables de metales pesados.

3.2.2.3 Acabados de tejidos de punto de fibras sintéticas

Las cantidades aproximadas de reactivos empleados en esta actividad son:

- Colorantes: 15-50 g/kg de sustrato textil
- Auxiliares: 45-150 g/kg de sustrato textil
- Sustancias químicas básicas: 50-280 g/kg de sustrato textil.

El consumo total de energía varía entre 3,5 y 17 kWh/kg, mientras que el consumo de energía eléctrica se sitúa entre 1,5-6 kWh/kg

En la tabla siguiente se exponen los datos correspondientes a las aguas residuales generadas en trece fábricas de este subsector.

		Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4	Fáb. 5	Fáb. 6	Fáb. 7	Fáb. 8	Fáb. 9	Fáb. 10	Fáb. 11	Fáb. 12	Fáb. 13
Generación aguas residuales (l/kg)		117	173	81	77	127	89	35	229	83	43	61	144	255
DQO	Conc. (mg O₂/l)	1003	379	1045	3590	911	890	2170	384	581	3480	1870	883	262
	F. Emis. (g/kg)	117	66	85	276	116	79	76	88	48	150	114	127	67
DBO₅	Conc. (mgO₂/l)	271	184	384	855	242	246	252	95	132	590		326	88
	F. Emis. (g/kg)	31,7	31,8	31,1	65,8	30,7	21,9	8,8	21,8	11,0	25,4		47	22
AOX	Conc. (mg Cl/l)				4,3	0,3	0,34				0,65	0,3		
	F. Emis. (g/kg)				0,3	0,04	0,03				0,03	0,02		
Hidro-carburos	Conc. (mg/l)	60	4,9	57,1		26,9								
	F. Emis. (g/kg)	7	0,8	4,6		3,4								
pH							7,3		9,2		6	7,4		
Conductividad (mS/cm)		3,2	4,1	1	2,2		1,7		1,5	3,6	2,6	0,9		
T (°C)		29,3	29	39,8					36,8					
NH₄	Conc. (mg/l)				2		6		18					
	F. Emis. (g/kg)				0,2		0,5		4,1					
N_{Org}	Conc. (mg/l)				15	16,5	18,2		12		15			
	F. Emis. (g/kg)				1,2	2,1	1,6		2,7		0,6			
P_{Tot}	Conc. (mg/l)												1,9	2,3
	F. Emis. (g/kg)												0,27	0,59
Cu	Conc. (mg/l)	<0,05	0,06	0,09	0,09	<0,09			<0,1		<0,01	0,04	0,1	0,03
	F. Emis. (mg/kg)	6	10	7	7	11			23		0,43	2	14,4	8
Cr	Conc. (mg/l)		<0,1	0,15	<0,05	0,14							0,03	0,03
	F. Emis. (mg/kg)		17	12	4	18							4,3	8
Ni	Conc. (mg/l)								<0,1		<0,01	<0,02		
	F. Emis. (mg/kg)								23		0,4	1,2		
Zn	Conc. (mg/l)	0,16	0,05	0,07							0,03	0,08	0,07	0,03
	F. Emis. (mg/kg)	19	9	6							1	5	10	8

Tabla 3.19. Factores de emisión de las aguas residuales de trece fábricas de acabados de tejido de punto de fibra sintética

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- Una producción muy variable de aguas residuales (desde 35 a 229 l/kg). Los valores más altos corresponden a procesos tradicionales, mientras que los valores más bajos corresponden a instalaciones con equipamientos más avanzados (máquinas automáticas con una baja relación de baños)
- Una DQO de entre 65 y 150 g/kg. Los valores más bajos corresponden principalmente a fábricas de acabado de poliamida
- Emisiones despreciables de metales pesados.

3.2.2.4 Acabados de tejidos de punto de lana

Las cantidades aproximadas de reactivos empleados en esta actividad son:

- Colorantes: 15-50 g/kg de sustrato textil
- Auxiliares: 45-150 g/kg de sustrato textil

- Sustancias químicas básicas: 50-280 g/kg de sustrato textil.

El consumo total de energía es significativamente alto (67 kWh/kg), así como también el de energía eléctrica (9,5 kWh/kg)

En la tabla siguiente se exponen los datos correspondientes a las aguas residuales generadas en una única fábrica de este subsector.

		Fábrica 1
Generación de aguas residuales (l/kg)		63
DQO	Concentración (mg O ₂ /l)	1470
	F. Emisión (g/kg)	93
DBO ₅	Concentración (mg O ₂ /l)	367
	F. Emisión (g/kg)	23,1
AOX	Concentración (mg Cl/l)	0
	F. Emisión (g/kg)	0,02
pH		6,8
Conductividad (mS/cm)		0,6
T (°C)		31,5
NH ₄	Concentración (mg/l)	9,5
	F. Emisión (g/kg)	
N _{org}	Concentración (mg/l)	23,3
	F. Emisión (g/kg)	1,5
Cu	Concentración (mg/l)	0,03
	F. Emisión (mg/kg)	2
Cr	Concentración (mg/l)	0,09
	F. Emisión (mg/kg)	6
Zn	Concentración (mg/l)	0,5
	F. Emisión (mg/kg)	32

Tabla 3.20. Factores de emisión de aguas residuales de una fábrica de acabados de tejido de punto de lana

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- Una producción moderada de aguas residuales (63 l/kg)
- Una DQO moderada (1470 mg/l)
- Emisiones despreciables de metales pesados.

3.2.2.5 Análisis de algunos procesos relevantes de las fábricas de acabados de tejidos de punto

Pretratamiento de los tejidos de punto de algodón

El pretratamiento de los tejidos de punto de algodón incluye los procesos de blanqueo y lavado. La intensidad del blanqueo depende de la calidad del algodón, así como del grado de blanco deseado.

Pretratamiento continuo

El pretratamiento continuo de los tejidos de punto de algodón es utilizado principalmente en grandes instalaciones. Los procesos de blanqueo y lavado con peróxido de hidrógeno consisten en:

- Impregnación del material en un baño de blanqueo con un porcentaje de absorción del 130%
- Reacción de blanqueo en una caldera (30 minutos) con vapor saturado a una temperatura de 95-98 °C
- Aclarado con agua a contracorriente
- Impregnación de un baño que contiene agentes de lavado y complejantes, seguido de una vaporización (3-5 minutos con vapor saturado)
- Aclarado y secado.

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- Una generación de aguas residuales de alrededor de los 30 l/kg de sustrato tratado
- Una DQO de entre 80-100 g/kg de sustrato tratado.

Pretratamiento discontinuo

Para la tincura discontinua de los tejidos de punto de algodón, tradicionalmente se ha usado una combinación de hipoclorito y peróxido de hidrógeno. Debido a los problemas de emisión de AOX generados por el hipoclorito, este se ha ido sustituyendo por peróxido de hidrógeno.

En la tabla 3.21 se muestran los datos obtenidos de DQO, AOX, pH y conductividad, del blanqueo combinado de los tejidos de punto de algodón con hipoclorito y peróxido de hidrógeno, y se observa la gran diferencia de emisiones de AOX en las aguas residuales:

Parámetro	NaClO-Blanqueador Baño de blanqueo por agotamiento	H ₂ O ₂ -Blanqueador Baño de blanqueo por agotamiento
pH	9,3-10,2	10,5-11
DQO (mg O ₂ /l)	1500-1800	1500-1600
AOX (mg Cl/l)	90-100	3,5-6 (*)
Conductividad (mS/cm)	10,2-10,5	7,2-8

(*) Este valor se debe a la contaminación remanente del baño anterior con NaClO

Tabla 3.21. Parámetros de emisión de las aguas residuales del blanqueo por agotamiento de los tejidos de punto de algodón con una mezcla de NaClO/H₂O₂

Las aguas residuales generadas por esta actividad se caracterizan por:

- El vertido de aguas residuales es de 30-50 l/kg de sustrato textil
- Los AOX prácticamente desaparecen con la aplicación del H₂O₂
- Los valores de DQO del vertido son prácticamente idénticos en los dos casos
- El pH del vertido es ligeramente superior con el uso del peróxido de hidrógeno.

Tintura por agotamiento de los tejidos de punto de algodón

La tincura del tejido de punto se realiza en proceso discontinuo con colorantes reactivos (tintura por agotamiento).

En la tabla 3.22 se muestran los inputs para diferentes tipos de matiz o matiz aplicado. La relación de baño óptima es de 1:8. No obstante, en aquellos casos en los que, por cuestiones de mercado, el lote que hay que tratar es menor, las relaciones del baño pueden llegar a reducirse hasta 1:25.

	Unidades	Matiz claro	Matiz medio	Matiz oscuro
Relación de baño	1:8 - 1:25			
Colorantes	(g/kg textil)	0,5-4	5-30	30-80
Auxiliares orgánicos	(g/kg textil)	0-30	0-30	0-35
Sales	(g/kg textil)	90-400	600-700	800-2000
Auxiliares inorgánicos	(g/kg textil)	50-250	30-150	30-150

Tabla 3.22. Inputs para la tintura por agotamiento de los tejidos de punto de algodón

En las tablas 3.23 y 3.24 se muestra la composición de las aguas residuales generadas, según procedan de un tipo u otro de baño (matiz oscuro o claro).

	DQO (mg O ₂ /l)	PH	Conductividad (mS/cm)	SAC 436 nm (l/m)	SAC 525 nm (l/m)	SAC 620 nm (l/m)
Baño de colorante	920	11	72	43	18	6
1º baño de aclarado	180	10,6	10	9	4	2
2º baño de aclarado	33	10	2,8	4	2	1
3º baño de aclarado	23	9	1	2	1	1
4º baño de aclarado	5	8,3	0,8	1	0,5	0,2

Tabla 3.23. Descarga de los baños de tintura (matiz claro) por agotamiento de tejidos de punto de algodón con colorantes reactivos

	DQO (mg O ₂ /l)	pH	Conductividad (mS/cm)	SAC 436 nm (l/m)	SAC 525 nm (l/m)	SAC 620 nm (l/m)
Baño de tintura	3400	12,1	140	328	315	320
Baño de aclarado	2980	11,8	55	325	298	308
Baño de neutralización	2530	4,5	25	309	220	246
1º baño de aclarado	1060	4,7	8,3	316	185	196
2º baño de aclarado	560	5,3	2,1	316	164	154
Baño con detergentes	450	6,7	0,8	321	177	132
1º baño de aclarado	150	7,0	0,5	205	94	61
2º baño de aclarado	76	7,6	0,4	63	27	17
3º baño de aclarado	50	7,6	0,4	29	13	7

Tabla 3.24. Descargas de los baños de tintura (matiz oscuro) por agotamiento de tejidos de punto de algodón con colorantes reactivos. R.B. = 1:25. El consumo total de agua es de 142 l/kg

Si bien en ambos casos la generación de agua residual es similar (142 l/kg de tejido), la carga contaminante es muy superior en las descargas de tintura para las tinturas de matiz intenso.

3.2.3 Acabados de tejido de calada

3.2.3.1 Acabados de tejido de calada de algodón y viscosa

Los consumos habituales de reactivos y energía en esta actividad son:

- Colorantes: 10-80 g/kg de sustrato.
- Auxiliares: 180-200 g/kg de sustrato textil.
- Sustancias químicas básicas: 200-250 g/kg de sustrato textil.

El consumo total de energía en los procesos de tintura y acabados se sitúa entre 8 y 20 kWh/kg de sustrato textil, mientras que el consumo de electricidad es aproximadamente de 0,5-1,5 kWh/kg.

En la tabla 3.25 se muestran los datos sobre las emisiones de aguas residuales de 14 fábricas de acabado de tejido, principalmente de algodón. La mayoría de estas empresas realizan el pretratamiento y el teñido en modo continuo o semicontinuo.

Las principales características de las aguas residuales generadas son las siguientes:

- Los flujos de aguas residuales varían enormemente, desde los 50 l/kg hasta los 200, o incluso por encima de 600 l/kg. Las empresas con flujos próximos a los 50 l/kg disponen de equipos de lavado más modernos y eficientes, mientras que las empresas con flujos cercanos a 600 l/kg usan tecnología obsoleta de muy baja eficiencia.
- Las emisiones de DQO son considerablemente más altas en las fábricas de acabado de tejido que en las fábricas de acabado de hilados o de tejido de punto debido principalmente al uso de los agentes de encolado (este contribuye en la DQO de las aguas residuales en un 70 %).
- La relación DQO/DBO₅ puede variar considerablemente por el grado de biodegradabilidad de los agentes de encolado aplicados: habitualmente, estos agentes sintéticos presentan una biodegradabilidad muy baja.

	Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4	Fáb. 5	Fáb. 6	Fáb. 7	Fáb. 8	Fáb. 9	Fáb. 10	Fáb. 11	Fáb. 12	Fáb. 13	Fáb. 14
Generación de aguas residuales (l/kg)	182	83	211	99	56	132	45	150	93	618	71	99	645	107
Conc. (mg O₂/l)	822	3640	597	1210	2280	996	4600	672	1616	334	2000	1046	467	1926
F. Emis. (g/kg)	150	303	126	120	128	132	208	101	150	206	143	104	302	206
Conc. (mg O₂/l)	249	1350	128	256	610	384	1760	307	367	66	900	197	141	262
F. Emis. (g/kg)	45	113	27	25	34	51	79	46	34	41	64	20	91	28
Conc. (mg Cl/l)	0,3	2,5	0,38	0,9	0,17		1,1	0,3	0,3	0,27				
F. Emis. (g/kg)	0,05	0,21		0,09	0,01		0,05	0,04	0,028	0,17				
Conc. (mg/l)		7,5				3								
F. Emis. (g/kg)		0,6				0,4								
pH	8,4		8,6	10,1	9,6			10,1		8,6	12	8,5	7,2	
Conductividad (mS/cm)	1,4	3,3	1,9		2,4	0,2		2,2		1,2				
T (°C)	25,8	44,5				20,4	33,7	41,9		30,9	40			0
Conc. (mg/l)	4,6	3,1	7,9	48,3	14,3								2	
F. Emis. (g/kg)	0,8	0,3	1,7	4,8	0,8								1,29	
Conc. (mg/l)	16,7		15,6	158	56			25		16,5				
F. Emis. (g/kg)	3		3,3	16	3,1			3,7		10,2				
Conc. (mg/l)											40	12,32	11	19,7
F. Emis. (g/kg)											2,86	1,22	7,11	2,11
Conc. (mg/l)	0,23	0,6	0,09	0,36	0,08	0,07	0,25	<0,01	0,13	0,12	0,36	0,22		0,26
F. Emis. (mg/kg)	42	50	19	36	5	9	11	<1,5	12	74	0,10	0,12		0,22
Conc. (mg/l)	0,09	0,05	0,02			0,1	0,006	<0,01	0,05	0,022	0,10	0,04		23,5
F. Emis. (mg/kg)	16	4	4			13	0,3	<1,5	5	14	7,1	4,0		
Conc. (mg/l)							0,03		0,03		0,10			
F. Emis. (mg/kg)						0,16	1		3		7,1			
Conc. (mg/l)	0,24	0,18				21	0,18	<0,01		1,05	0,20	0,36		0,06
F. Emis. (mg/kg)	44	15				8	8	<1,5		649	14,3	35,8		6,4

Tabla 3.25. Valores de emisión de las aguas residuales de las fábricas de acabado de tejido de algodón

3.2.3.2 Acabados de tejido de algodón y viscosa, y posterior estampación

Los reactivos aplicados en esta actividad son:

- Tintes: 80-100 g/kg de sustrato textil
- Auxiliares: 180-200 g/kg de sustrato textil
- Sustancias químicas básicas: 800-850 g/kg de sustrato textil.

El consumo total de energía es de aproximadamente 18,8 kWh/kg. El consumo de electricidad se sitúa alrededor de los 2,3 kWh/kg.

En la tabla 3.26 se muestran los datos sobre las emisiones de aguas residuales de 12 fábricas de acabados de tejido de algodón y viscosa, y posterior estampación.

	Fáb. 1	Fáb. 2	Fáb. 3	Fáb. 4	Fáb. 5	Fáb. 6	Fáb. 7	Fáb. 8	Fáb. 9	Fáb. 10	Fáb. 11	Fáb. 12	
Generación de aguas residuales (l/kg)	264	155	229	139	255	283	207	284	295	283	175	143	
DQO	Conc. (mg O ₂ /l)	1167	1265	859	819	570	760	640	961	513	607	1701	766
	F. Emis. (g/kg)	308	196	197	114	145	215	132	273	151	172	298	110
DBO ₅	Conc. (mg O ₂ /l)	272	605	267	215	169	215	240	286	169	187	652	191
	F. Emis. (g/kg)	72	94	61	30	43	61	50	81	50	53	114	27
AOX	Conc. (mg Cl/l)		0,4	1,3	2,4		1,7						
	F. Emis. (g/kg)		0,06	0,30	0,33		0,48						
Hidrocarburos	Conc. (mg/l)	18,1											
	F. Emis. (g/kg)	4,78											
pH		9	9,1		9,3	9,6	7,8	7,9	8	8			
Conductividad (mS/cm)	1,4	2,8	2,8	2,5		1,3							
T (°C)	26	19	33,7										
NH ₄	Conc. (mg/l)				98	146	13,5	170	72	102	40	9	
	F. Emis. (g/kg)				22,4	20,29	3,44	48,11	14,91	29,02	11,81	2,55	
N _{Org}	Conc. (mg/l)			24		156		19,5					
	F. Emis. (g/kg)			5,49		39,78		4,04					
N _{Tot}	Conc. (mg/l)						92	108	46	28	39,5	29,9	
	F. Emis. (g/kg)						19,05	30,72	13,58	7,93	6,91	4,28	
P _{Tot}	Conc. (mg/l)										6,4	3,4	
	F. Emis. (g/kg)										1,12	0,49	
Cu	Conc. (mg/l)	0,61	0,06	0,4			0,1				0,32	0,24	
	F. Emis. (mg/kg)	161	9	92			28				56	34,3	
Cr	Conc. (mg/l)	0,1	0,02	0,08							0,02	0,01	
	F. Emis. (mg/kg)	26	3	18							3,5	1,4	
Ni	Conc. (mg/l)		0,03				0,01						
	F. Emis. (mg/kg)		5				3						
Zn	Conc. (mg/l)	0,22	0,15				0,15				0,24	0,06	
	F. Emis. (mg/kg)	58	23				42				42,0	8,6	

Tabla 3.26. Valores de emisión de las aguas residuales de las fábricas de acabado de tela tejida principalmente de algodón, con una sección de estampación importante

Las principales características de las aguas residuales generadas son las siguientes:

- La mayor parte de fábricas de este sector utilizan tintes para la estampación, excepto algunas que usan pigmentos. Estas últimas tienen un menor consumo de agua y, por tanto, sus emisiones de aguas residuales son menores. La generación de aguas residuales para este tipo de fábricas se sitúa en torno a 155-283 l/kg.
- La DQO de las aguas residuales generadas en este sector es elevada debido al uso de los agentes de encolado y a la carga orgánica de la sección de estampado.
- Las altas concentraciones de amoníaco son habituales de la estampación con tintes debido a la presencia de urea y amoníaco en las pastas de estampación.
- El uso de tintes halogenados puede dar lugar a valores elevados de AOX en las aguas residuales generadas.

3.2.3.3 Acabados de tejido de lana

Los reactivos empleados en el proceso de acabados de tejido de lana son los siguientes:

- Tintes: 10-30 g/kg de sustrato textil
- Auxiliares: 140-160 g/kg de sustrato textil
- Sustancias químicas básicas: 85-95 g/kg de sustrato textil.

En la tabla 3.27 se muestran los valores de emisión de las aguas residuales de seis fábricas de acabado de tela tejida principalmente de lana.

	Fábrica 1	Fábrica 2	Fábrica 3	Fábrica 4	Fábrica 5	Fábrica 6	
Generación de aguas residuales (l/kg)	141	296	314	170	114	70	
DQO	Conc. (mg O₂/l)	659	814		280	728	
	F. Emis. (g/kg)	93	241	144	66	32	51
DBO₅	Conc. (mg O₂/l)	227	308			60	140
	F. Emis. (g/kg)	32	91			6,8	9,8
AOX	Conc. (mg Cl/l)		0,31				
	F. Emis. (g/kg)		0,09				
Hidrocarburos	Conc. (mg/l)	8,5					
	F. Emis. (g/kg)						
pH		7,1					
Conductividad (mS/cm)	1	1,9					
T (°C)	27	30					
NH₄	Conc. (mg/l)					34	
	F. Emis. (g/kg)					2,4	
N_{Org}	Conc. (mg/l)		22,7				
	F. Emis. (g/kg)		6,7				
N_{Tot}	Conc. (mg/l)				55,2		
	F. Emis. (g/kg)				6,3		
Cu	Conc. (mg/l)	0,08	0,05			5,29	
	F. Emis. (mg/kg)	11	15	<8	<7	0,6	
Cr	Conc. (mg/l)	0,38	0,24	<8	16	0,04	0,25
	F. Emis. (mg/kg)	54	71			5	17,5
Ni	Conc. (mg/l)		0,05	<8	<7	0	
	F. Emis. (mg/kg)		15				
Zn	Conc. (mg/l)	1,3	0,61			1,58	
	F. Emis. (mg/kg)	183	181	32	50	180	

Tabla 3.27. Valores de emisión de aguas residuales de las fábricas de acabado de tejido de lana

Según los resultados expuestos en la tabla anterior, las aguas residuales generadas en este sector se pueden caracterizar por:

- La generación de aguas residuales es de aproximadamente 150 litros por kg de sustrato textil tratado con máximos y mínimos de 314 y 70 respectivamente.
- La DQO generada es moderada, y oscila entre los 200 y los 800 mg O₂/l.
- El contenido en metales es moderadamente bajo. No obstante, cabe destacar el contenido en cromo, algo superior a otras actividades similares, principalmente debido al uso de tintes de cromo y tintes con complejos metálicos.

3.2.3.4 Acabado de tejido de fibras sintéticas

En la tabla 3.28 se muestran los valores de emisión de las aguas residuales de cinco fábricas de acabado de tejido de fibras sintéticas.

	Fábrica 1	Fábrica 2	Fábrica 3	Fábrica 4	Fábrica 5	
Generación de aguas residuales (l/kg)	114	165	248	178	100	
DQO	Conc. (mg O ₂ /l)	2500	965	665	726	1254
	F. Emis. (g/kg)	286	160	165	129	125
DBO₅	Conc. (mg O ₂ /l)		227	245	165	373
	F. Emis. (g/kg)		38	61	29	37
pH		7	7,4	7,6		
NH₄	Conc. (mg/l)		1	9	12	
	F. Emis. (g/kg)		0,17	2,23		
N_{Tot}	Conc. (mg/l)		14	23	23	9
	F. Emis. (g/kg)		2,3	5,7		0,9
P_{Tot}	Conc. (mg/l)					4,9
	F. Emis. (g/kg)					0,5
Cu	Conc. (mg/l)					0,14
	F. Emis. (mg/kg)					14
Cr	Conc. (mg/l)					0,06
	F. Emis. (mg/kg)					6
Zn	Conc. (mg/l)					0,06
	F. Emis. (mg/kg)					6

Tabla 3.28. Valores de emisión de las aguas residuales de las fábricas de acabado de tejido de fibra sintética

Según los resultados expuestos en la tabla anterior, las aguas residuales generadas en este sector se pueden caracterizar por:

- Una generación de aproximadamente 160 l/kg de sustrato textil tratado, con máximos y mínimos de 284 y 100 respectivamente. Los valores más elevados se deben al uso de maquinaria obsoleta o al tratamiento de cantidades significativas de celulosa junto con las fibras sintéticas.
- La DQO de las aguas residuales generadas, algo elevada, oscila entre los 600 y los 2.000 mg O₂/kg.

3.2.3.5 Análisis de algunos procesos específicamente relevantes de las fábricas de acabado de tejido

Chamuscado

Las emisiones generadas en el proceso de chamuscado podrán variar sustancialmente dependiendo de los siguientes factores:

- El sustrato textil a tratar (algodón, lana, fibra sintética, etc.)
- La posición de los quemadores (distancia y ángulo)
- Tratamiento de las emisiones.

Los componentes de estas emisiones son, principalmente:

- Partículas procedentes de las fibras quemadas
- Compuestos orgánicos volátiles procedentes del sustrato
- Metano, debido a combustiones incompletas
- Formaldehído de los gases de combustión.

El chamuscado puede ser un proceso generador de olores intensos. En el proceso de chamuscado de un sustrato textil de algodón sin sistemas de tratamiento se pueden llegar a obtener valores de olor de 60.000 OU/kg (una OU, *Reference Odour Mass*, es equivalente a 123 µg de n-butanol).

Termofijación

La tabla 3.29 muestra los principales contaminantes emitidos al aire en el proceso de tratamiento térmico de tejidos.

Fibra	Impurezas y subproductos contenidos en el tejido	Contaminantes emitidos al aire
Fibras tanto naturales como artificiales en general	Agentes de preparación	Aceites minerales Ésteres de ácidos grasos y sus subproductos y/o compuestos de descomposición térmica
Elastán	Disolventes orgánicos Agentes de preparación	Dimetilacetamida Siliconas
Poliamidas aromáticas	Disolventes orgánicos	Dimetilacetamida
Fibras acrílicas	Disolventes orgánicos	Dimetilformamida Dimetilacetamida
Poliamidas	Monómeros	Σ-Caprolactama

Tabla 3.29. Posibles emisiones a la atmósfera generadas en el proceso de termofijación

Pretratamiento en continuo de tejido de algodón

Los procesos más comunes en el proceso de pretratamiento del algodón son: descolado, desgrasado y blanqueo. Los consumos de agua, vapor y reactivos en los sistemas de pretratamiento son los siguientes:

Operación	Reactivos por kg de tejido		Agua caliente (l/kg tejido)	Vapor (kg/kg tejido)	
				Calentamiento vapor indirecto	Calentamiento vapor directo
Descolado			20-25 (*)	0,6-0,8	0,3-0,4
Desgrasado	NaOH (100 %)	40 g/kg			
	Humectantes	5 ml/kg			
	Retardantes	2 ml/kg			
Vaporizado					0,4
Lavado				0,8-1	0,4-0,5
Secado					1,1
Blanqueo	H ₂ O ₂ (35 %)	45 ml/kg			
	NaOH (100 %)	15 g/kg			
	Estabilizantes org.	10 ml/kg			
	Humectantes	3 ml/kg			
Lavado	Ácido acético (80%)	2 ml/kg		0,8-1,2	0,4-0,6
Vaporización					0,4
Secado				1,1	

(*) La preparación, sin considerar la caustificación ni la mercerización, presenta un consumo de agua de entre 20 y 25 litros de agua por kilogramo de tejido

Tabla 3.30. Consumos de agua, vapor y reactivos en una línea de pretratamiento de algodón en continuo

Tintura continua y semicontinua

Los niveles de emisión y consumo del proceso de tintura por agotamiento del tejido no se exponen en este apartado, ya que son muy similares a los correspondientes al proceso de tintura por agotamiento del tejido de punto.

La técnica más utilizada en la tintura continua y semicontinua es la aplicación de tintes por impregnación.

Los baños de tintura ya agotados representan una pequeña parte de las aguas residuales totales generadas por este sector. Sin embargo, contribuyen altamente a aumentar la carga contaminante del vertido debido al colorante que contienen.

Estampado

Residuos de pasta de estampación y emisiones de aguas residuales de las estampadoras con tamiz rotatorio:

- Las pérdidas de pasta de estampación son particularmente importantes en la estampación con tamiz rotatorio y algo menores en la estampación de tamiz plano.
- Las pérdidas de pasta de estampación se sitúan alrededor de 6,5-8,5 kilogramos en total, aunque, en algunos casos, según la cantidad y el tipo de textil, las pérdidas pueden ser más altas que la cantidad de pasta aplicada.

Al final de cada proceso de impresión, el equipo de impresión completo se limpia con agua. El consumo derivado de la limpieza es de 350 litros para la bomba y tubos, 35 litros para el enjugador y 90 litros para el tamiz. La limpieza de la manta de impresión supone un consumo de alrededor de 1.200 litros/h, y la limpieza de la manta de secado, otros 400 litros/h.

Por otra parte, las pastas de estampación contienen compuestos volátiles y otros compuestos susceptibles de ser emitidos a la atmósfera. La tabla 3.31 muestra los datos referentes a las emisiones a la atmósfera generadas por tres fábricas de acabado.

Fábrica	Proceso de estampación	Etapa	Sustrato	Temp. del proceso (°C); Tiempo (min) de polimerización	Factor de emisión (g C/kg textil)
Fáb. A	Estampación en tintes directos	Secado	Viscosa		0,3
		Vaporización	Viscosa	102;13	1
	Estampación por dispersión	Secado	Poliéster		1,3
		Fijación	Poliéster	175; 5	0,01
	Estampación con pigmentos	Secado	Algodón	150	
		Condensación	Algodón	160; 5	0,1
Fáb. B	Estampación con pigmentos	Secado y fijación	Algodón	Secado: 150; 1 Fijación: 160; 4	0,4-4 según composición
Fáb. C	Estampación con pigmentos	Secado y fijación	Poliéster	Secado: 150; 1 Fijación: 160; 4	0,4-5,6 según composición

Tabla 3.31. Datos de las emisiones al aire de tres fábricas de acabado

Acabado

La contaminación del agua en las operaciones de acabado puede provenir de operaciones de postlavado (no siempre requerido) y de la disposición inadecuada de los residuos concentrados de los tanques de preparación, tubos y bombas.

La cantidad de baño residual es aproximadamente de un 0,5-35 % de la cantidad total de baño: los valores más bajos corresponden a fábricas que trabajan sobre un solo tipo de sustrato, mientras que los valores más altos son típicos de fábricas que procesan tipos diferentes de sustratos en partidas pequeñas.

La caracterización de las aguas residuales generadas es muy variable, ya que depende del tipo de baño aplicado y del sustrato tratado.

Por lo que respecta a las emisiones a la atmósfera en los procesos térmicos posteriores al acabado, en la tabla siguiente se muestran las emisiones a la atmósfera generadas por los procesos térmicos realizados después de diferentes acabados.

Fab.	Baño del acabado	Sustrato	T (°C)	Factor Emisión (g/kg textil)	Concentración (mg/Nm ³)	Caudal (g/h)	Tecnología de secado. Sistema de reducción de emisiones aplicada	Observaciones
F 1	Reticulante y antideslizante	PA 6	150	3,5	21	101	Calentamiento directo	1,5 g/kg formaldehído
	Antiestático, suavizante	PA 6.6	150	0,7	33	148	Calentamiento directo	
F 2	Suavizante, ácido acético	CO/EL	170	0,9	52	506	Calentamiento indirecto	0,02 g/kg formaldehído
F 3	Baño ignífugo	CO	145	0,3	19	155	Calentamiento directo. Recuperación de calor	0,01 g/kg formaldehído
	Brillo óptico, antiestático	PES	190	0,6	24	277	Calentamiento directo. Recuperación de calor	
F 4	Suavizante	PES/WO	130	0,6	187	529	Calentamiento indirecto	0,05 g/kg formaldehído
	Antideslizante	PES/WO	130	0,3	15	188	Calentamiento indirecto	0,01 g/kg formaldehído
F 5	Endurecedor, suavizante	PES	170	0,4	9	123	Calentamiento directo	0,03 g/kg formaldehído
	Suavizante	PES	170	0,5	10	149	Calentamiento directo	0,04 g/kg formaldehído
F 6	Revestimiento	CV/PP	110	0,7	68	689	Calentamiento directo. Recuperación de calor	0,06 g/kg formaldehído
	Revestimiento, suavizante, espesante ácido acético	CV/CO	120	0,08	8	36	Calentamiento indirecto. Recuperación de calor	
F 7	Revestimiento, reticulante, agente espumoso	CV	150	0,35	16	142	Calentamiento directo. Scrubber en agua	0,14 g/kg formaldehído
F 8	Agente humectante, quitamanchas	CV/CO/PES/WO	165	0,5	22	255	Calentamiento directo. Scrubber en agua	
	Suavizante, agente espumoso	PES/CV/CO	150	0,3	17	200	Calentamiento directo. Scrubber en agua	
	Revestimiento	PES/CO	130	0,2	10	121	Calentamiento directo. Scrubber en agua	
F 9	Suavizante, agente humectante, ácido acético	CO/EL	150	0,2	43	56	Calentamiento indirecto	0,03 g/kg formaldehído
	Suavizante, agente humectante, ácido acético, hidrofóbico, quitamanchas	CO/CV/EL	150	0,3	53	69	Calentamiento indirecto	0,05 g/kg formaldehído
F 10	Secado después de la tintura	PA/EL	135	0,4	12	138	Calentamiento directo. Scrubber en agua	
F 12	Protector de lana, agente humectante	PES/WO/EL	190	1,3	60	542	Calentamiento directo	0,7 g/kg formaldehído
	Hidrofóbico, agente humectante, ácido acético	PES/WO/EL	190	0,9	41	370	Calentamiento directo	0,8 g/kg formaldehído
F 14	Hidrofóbico	PAC/PES	180	0,5	18	238	Calentamiento directo	
	Suavizante	CO/PES	160	0,5	34	439	Calentamiento directo	
	Antideslizante	PAC	160	0,7	19	245	Calentamiento directo	

CO: Algodón; CV: Viscosa; EL: Elastano; PA: Poliamida; PA 6: Poliamida 6; PA 6.6: Poliamida 6.6; PES: Poliéster; WO: Lana; PAC: Acrílico

Tabla 3.32. Emisiones al aire durante los tratamientos térmicos posteriores al acabado

En cuanto a emisiones al aire de contaminantes remanentes en la fibra durante los procesos de secado y fijación, destaca:

- Emisión potencial de los tejidos teñidos con portadores (carriers)
Los *carriers* se usan principalmente en los procesos de tintura de poliéster y sus mezclas. Una parte de estos portadores es absorbida por el tejido y no es liberada hasta que este es sometido a los tratamientos térmicos. El grado de absorción de los portadores depende de los siguientes factores:
 - De la relación y características del baño
 - Del sustrato textil
 - De las condiciones durante el aclarado.

La emisión potencial de carriers se muestra en la siguiente tabla:

Componentes activos de los carriers	Factor de emisión (g C/kg textil)
Benzoato de bencilo; Éster de ácido ftálico	8,97
Bifenilo; Ftalato de Dimetilo	8,3
Alquifalimida	5,88

Tabla 3.33. Factores de emisión al aire en el secado de textiles tratados con carriers

- Emisión potencial de los tejidos lavados en seco
La limpieza en seco (con percloroetileno) se usa en la industria textil para la limpieza de tejidos de mezclas de elastano y para la eliminación de manchas.

La capacidad de retención del percloroetileno en el tejido es elevada, por lo que este se libera en los procesos térmicos posteriores. Los rangos de emisión de percloroetileno durante el secado o la fijación son de 0,1-1,7 gramos por kilogramo de tejido.

Revestimiento y laminación

Los procesos de revestimiento y laminación generan importantes emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles contenidos en los disolventes, suavizantes, etc., así como del amoníaco y del formaldehído contenidos en los productos estabilizantes.

En la siguiente tabla se muestran las emisiones a la atmósfera generadas en los procesos de revestimiento.

Fáb.	Secado. Reducción de emisiones	Composición	Sustrato	T (°C)	Factor de emisión (g COV/kg textil)	Concentración (mg COV/Nm ³)	Caudal (g COV/h)	Observaciones
Fáb. 1	Calentamiento directo Srubber en agua	Agente de revestimiento (dispersión de acrilato) Agente de fijación (melamina) Agente espumoso (acrilato)	CV (no tejido)	150	0,4	20	173	Formaldehído: 0,14 g/kg
Fáb. 2	Calentamiento indirecto	Laminación: adhesivo PVC	Género de punto	105	-	82	144	Ftalatos: 6 mg/Nm ³ Vinilacetato: 12 mg/Nm ³
Fáb. 3	Calentamiento directo	Capa inferior de las alfombras (basada en estireno/butadieno)	PA 6	120	0,8	75	450	Formaldehído: 0,06 g/kg Amoniaco: 0,3 g/kg
Fáb. 4	Calentamiento directo	Laminación con llama	PA	-	-	74	232	HCN: 3,6 mg/Nm ³ TDI: 0,5 mg/Nm ³
Fáb. 5	Calentamiento directo	Dispersión de acrilato con aditivos	CO	150	0,4	-	138	Amoniaco: 0,02 g/kg

Tabla 3.34. Emisiones al aire del revestimiento

3.3 Industria de las alfombras

En este apartado se analizarán las corrientes residuales generadas en la actividad principal de la industria de las alfombras: las tintorerías de hilo para alfombras.

3.3.1 Tintorerías de hilo de lana y mezclas para alfombras

Dentro de esta categoría encontramos tres tipos de procesos: las tintorerías que tratan sólo fibra floja; las tintorerías que tratan sólo hilo y las tintorerías integradas que tratan fibra floja e hilo; en este documento se presentan los datos referentes a los dos primeros procesos.

Los parámetros utilizados para la valoración de la incidencia ambiental de estos procesos sobre las aguas son los siguientes:

- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Sólidos en suspensión (SS)
- Metales (cobre, cromo, cobalto y níquel)
- Pesticidas organoclorados (HCH, dieldrin, DDT)
- Pesticidas organofosforados (diazinon, propetamfos, clorfenvinfos)
- Pesticidas sintéticos piretroides (permetrina y ciflutrin, como agentes antipolillas y cipermetrina, como ectoparasiticida para el ganado).

3.3.1.1 Tintorerías de fibra suelta para alfombras

Los recursos consumidos por este sector, según los datos correspondientes a tres fábricas, se muestran en la siguiente tabla:

		Ud. por tn textil	Fáb A	Fáb B	Fáb C
INPUTS					
Agua		m ³	34,9	28,7	53,5
Energía total		GJ	11,18	15,52	15,64
Sustancias químicas de tintura y acabado	Sustancias químicas básicas	kg	36,39	28,81	72,11
	Tintes totales, de los cuales	kg	7,65	3,60	4,39
	Tintes de cromo + complejos metálicos		2,90	2,10	2,81
	Auxiliares de tintura, de los cuales	kg	10,27	15,84	4,30
	Agentes de nivelación		5,67	5,85	2,53
	Auxiliares de finalización total, de los cuales	kg	0,40	5,89	0,08
Agentes antipolillas	0,18		0,78	0	
OUTPUTS					
DQO		kg	20	28	20
Sólidos en suspensión		kg	0,05	0,30	1,03
Metales totales, de los cuales		g	67,33	54,85	2,97
• Cromo		g	66,08	52,78	1,67
• Cobre		g	0,47	1,19	0,15
• Cobalto		g	0,78	0,88	1,15
Piretroides sintéticos totales, de los cuales		g	0,462	0,172	0,015
Permetrina (antipolillas)		g	0,458	0,165	0,010
Cipermetrina (de la fibra cruda)		g	0,004	0,007	0,005
Organoclorados totales (de la fibra cruda)		g	0,003	0,007	0
Organofosforados totales (de la fibra cruda)		g	0,811	0,664	0,722
Aguas Residuales		m ³	27,7	24,46	45,44

Tabla 3.35. Descripción de niveles de emisión y consumo de tres fábricas de tintura de fibra suelta de alfombra

Consumo de agua y energía

Las diferencias observadas en los consumos de agua de los tres talleres referenciados anteriormente son debidas a los diferentes sistemas de trabajo aplicados (el taller C utiliza el método Overflow para el aclarado y refrigerado). También cabe destacar, por ejemplo, que el taller B tiene implantado un sistema de reciclaje parcial del agua.

Referente al consumo de energía, este debería ser, en teoría, de 5,5 GJ por tonelada de producto textil. En la práctica, sin embargo, se observan valores más altos debido principalmente a pérdidas de calor o a temperaturas del baño de aclarado insuficientes.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno de las aguas residuales de las fábricas de tintura de fibra suelta es debida a los tintes, a los auxiliares y a los agentes de nivelación utilizados. Sin embargo, una porción de esta DQO es atribuible a los contaminantes presentes en la materia prima usada. Por ejemplo, la lana fregada puede contener cantidades residuales de grasa y detergente, mientras que las fibras sintéticas pueden contener aceites lubricantes residuales.

Metales

La concentración de metales en las aguas residuales de los procesos de tintura de la fibra suelta se debe a la utilización de tintes al cromo o tintes con complejo metálico.

Pesticidas y Ectoparasiticidas

Los datos cuantitativos acerca de la presencia de pesticidas y ectoparasiticidas en las aguas residuales de los talleres de tintura de fibra suelta de lana son difíciles de obtener, no sólo porque los valores suelen estar por debajo del límite de detección del procedimiento analítico sino también porque la presencia de estos componentes en la lana es muy irregular.

3.3.1.2 Tintorerías de hilo para alfombras

Los recursos consumidos por este sector, según los datos correspondientes a tres fábricas, se muestran en la siguiente tabla:

		Ud. por tn textil	Fáb A	Fáb B	Fáb. C
INPUTS					
Agua		m ³	22		17,9
Energía total		GJ	23,37		11,9
Sustancias químicas de fregado	Sustancias químicas básicas	kg	16,2		
	Detergentes	kg	4,6	0,45	
	Activo antimoho	kg	0	0	
Sustancias químicas de tintura y acabado	Sustancias químicas básicas	kg	144	103	38
	Tintes totales, de los cuales		5,6	12,3	11,4
	Tintes de cromo + complejos metálicos	kg	0,3	3,7	7
	Auxiliares de tintura, de los cuales		33,6	58,2	47,9
	Agentes de nivelación	kg	16,4	37,4	34,3
	Auxiliares de finalización total, de los cuales		1,0	0,4	2,2
Agentes antipolillas	kg	0,5	0,1	0	
OUTPUTS					
DQO		kg	16,3	25,2	59
Sólidos en suspensión		kg	0,26	2,04	1,85
Metales totales, de los cuales					
• Cromo		g	0,1	2,19	21,2
• Cobre		g	0,41	0,26	0,10
• Cobalto		g	0,07	0,82	0,09
Piretroides sintéticos totales, de los cuales		g	0,212	0,039	0,277
Permetrina (antipolillas)		g	0,24	0,035	0,023
Ciflutrina (antipolillas)		g	0	0,002	0,24
Cipermetrina (de la fibra cruda)		g	0,012	0,002	0,014
Organoclorados totales (de la fibra cruda)		g	0,029	0,005	0
Organofosforados totales (de la fibra cruda)		g	0,142	0,426	0,41
Aguas Residuales		m ³	16,6	23	17,9

Tabla 3.36. Descripción de niveles de emisión y consumo de tres fábricas de tintura de hilo de alfombra

Consumo de agua y energía

Las diferencias en los consumos de agua entre la fábrica A y la C se deben a que mientras que la primera realiza la tintura de los hilos en madejas, la segunda realiza la tintura de los hilos en bobinas y sin prelavado.

Referente al consumo de energía, se observa que, en la mayoría de los casos, aproximadamente el 75 % de energía se consume en el proceso de desgrasado y tintura, mientras que solamente un 25 % de esta se consume en las operaciones de secado.

	Procesos	Energía requerida (GJ/t producto textil)
Ciclo de la tintura de madeja	Desgrasado continuo de madeja	3,0-5,0
	Tintura de madeja	10,0-16,0
	Secado de madeja	4,5-6,5
	Total	17,5-27,5
Tintura de hilado	Tintura de hilado	5-18

Tabla 3.37. Valores bibliográficos de consumo de energía en la tintura de hilo

Demanda química de oxígeno (DQO)

Un 80 % de la DQO contenida en las aguas residuales resultantes se genera en el proceso de desgrasado. Cabe señalar que las fibras sintéticas contienen lubricantes utilizados en la hilatura, los cuales son extraídos en el primer proceso en húmedo, contribuyendo al aumento de la DQO en las aguas residuales.

Material	Primer proceso en húmedo	DQO (mg/l)
80/20 hilo lana nailon «en aceite»	Hilo desgrasado	40-80
80/20 hilo lana nailon desgrasado para tintar	Hilo teñido	10-20

Tabla 3.38. Concentración de componentes presentes en la fibra en crudo

Metales

El uso de tintes con cromo se limita a la producción de matices intensos, aunque la proporción de estos tintes no excede del 5 % del total. Los tintes ácidos y los tintes premetalizados son predominantes de la tintura en hilo. Los niveles de emisión de cromo no son tan altos como en las fibras en floca.

Pesticidas y Ectoparasiticidas

El diagrama de flujo de los pesticidas y ectoparasiticidas en el proceso de hilado es el siguiente:

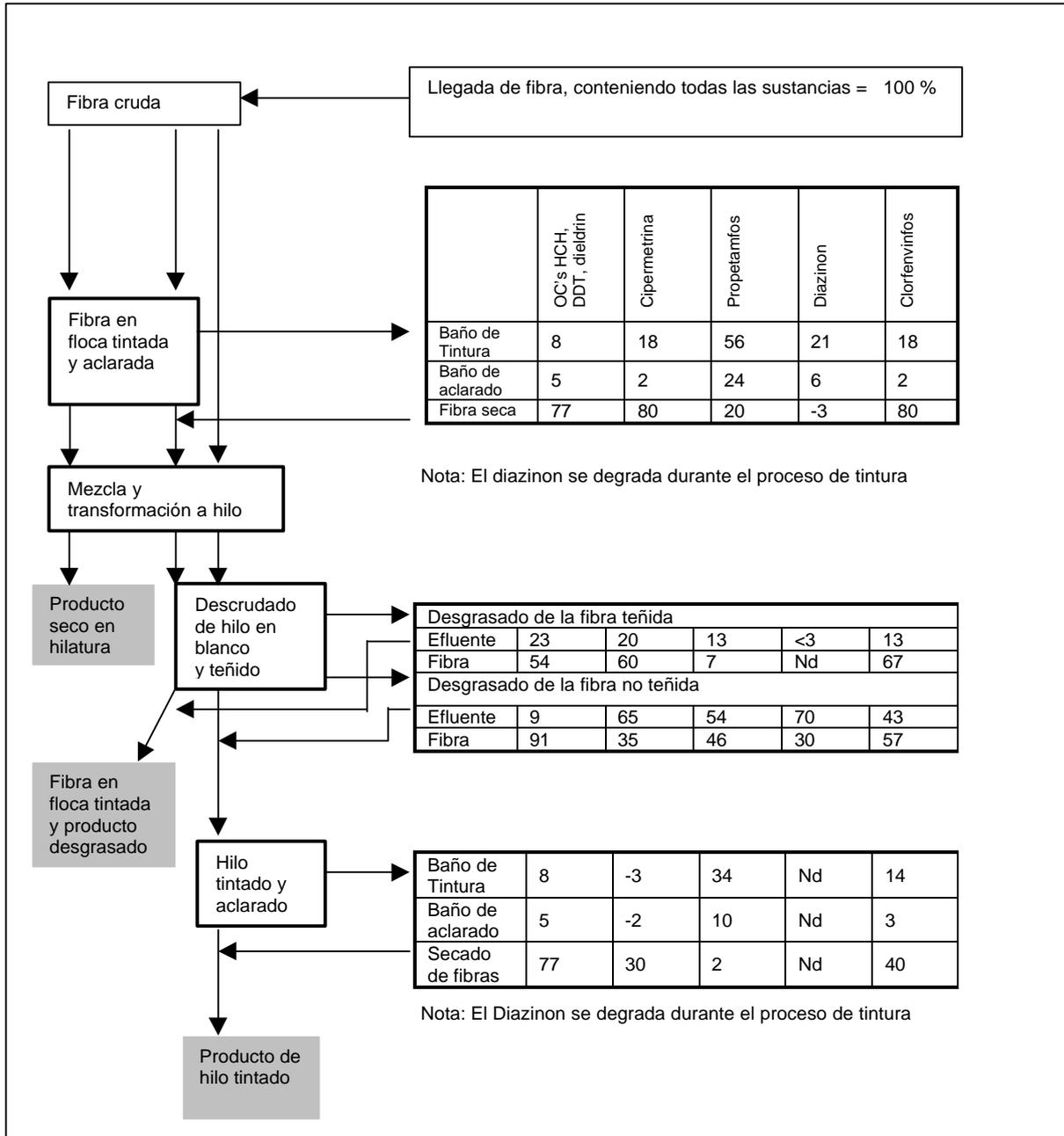


Figura 3.5. Aguas residuales. Coeficiente de reparto para los pesticidas organoclorados, organofosforafos y piretroides sintéticos en procesos húmedos

4. MTD EN ESPAÑA Y VALORES DE EMISIÓN ASOCIADOS

En este apartado se desarrollarán las técnicas aplicables en el sector textil que se deben considerar en la determinación de las MTD.

4.1 Buenas prácticas ambientales y de gestión

A continuación se exponen brevemente una serie de buenas prácticas ambientales aplicables al sector textil, a las cuales se puede considerar como principios generales en la prevención de la contaminación en el sector.

- Educación y formación medioambiental a los empleados, promoviendo su participación activa en la gestión medioambiental.
- Mantenimiento de equipos: realización de controles de emisiones, mantenimiento de filtros y sistemas de tratamiento de efluentes, calibración de los equipos, termoaislamiento en máquinas de alta temperatura, etc.
- Manipulación de sustancias químicas: el personal responsable de la manipulación de sustancias químicas deberá disponer de la formación necesaria para el desempeño de la actividad. Asimismo, las áreas de almacenamiento deben estar situadas en espacios equipados con sistemas de contención de vertidos.
- Automatización de la cocina de colores y de los diferentes equipos de dosificación. La automatización de los sistemas de dosificación de reactivos comporta una importante disminución en el margen de error en las medidas, evitándose así ajustes posteriores de color o de otros tratamientos y el consiguiente consumo de recursos.
- Gestión de los baños: preparación automatizada *just-in-time* del baño, búsqueda de las relaciones de baño óptimas, optimización en el uso del agua, etc.
- Disposición de la información relativa a los reactivos y materia prima en general. Esta información debe ser facilitada por el proveedor.
- Optimización en el uso de los recursos: agua, energía, reactivos y materias primas.
- Reducción de embalajes, uso de contenedores reciclables y reciclaje de los residuos textiles.
- Evaluación de las corrientes de entrada y salida: los diagramas de flujos y los balances de masas se consideran herramientas de gran utilidad para la identificación del potencial de optimización del sector. La figura 4.1 muestra el diagrama de flujos general del sector textil.
- EDAR: creación de un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento de las plantas de depuración de aguas residuales.

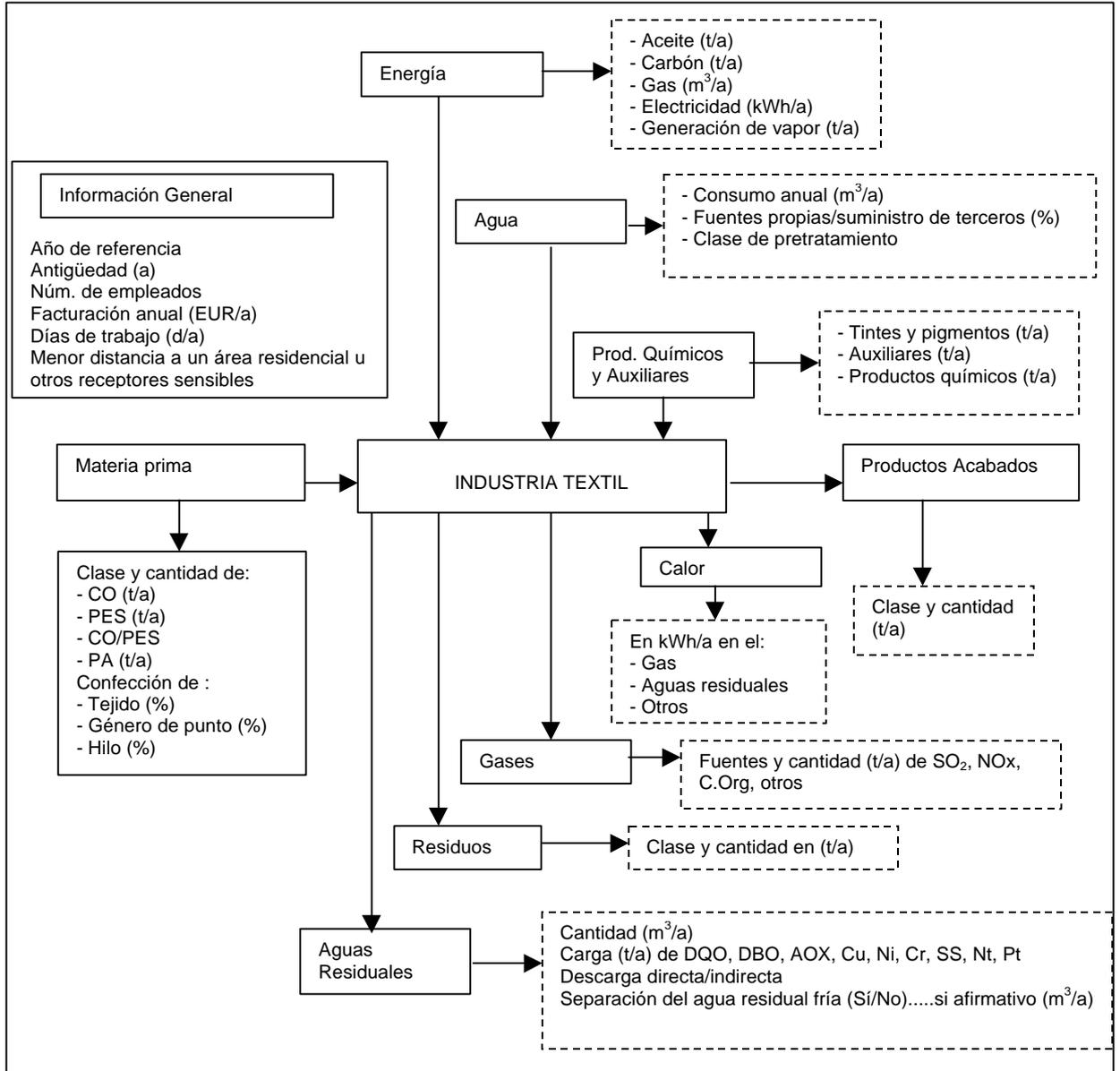


Figura 4.1. Diagrama de flujos en el sector textil

4.2 Sustitución de lubricantes y colas en los procesos de preparación de fibras y tejeduría

Los lubricantes y las colas utilizadas convencionalmente en la preparación de la fibra y en los procesos de tejeduría son productos con una elevada incidencia ambiental.

4.2.1 Sustitución de los aceites minerales como lubricantes

La lubricación de la materia prima en los procesos de preparación de las fibras y la fabricación del tejido se realiza con aceites minerales. Se trata de productos con una baja biodegradabilidad que a elevadas temperaturas se pueden volatilizar, emitiendo gases nocivos.

A continuación se proponen productos alternativos a estos aceites minerales.

4.2.1.1 Lubricantes para la preparación de las fibras sintéticas

Para la sustitución de los aceites minerales en los procesos de preparación de las fibras sintéticas se proponen los siguientes productos:

- Poliéter/poliéster o poliéter/policarbonatos.
- Poliésteres especiales.
- Ésteres de ácidos grasos.

Las características principales de la utilización de los lubricantes alternativos para la preparación de las fibras sintéticas son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Pueden ser aplicados en menor cantidad, reduciendo los malos olores. Menor volatilidad por una mayor estabilidad térmica. Reducción del consumo de agua. Reducción de la carga contaminante vertida en las aguas residuales, dado que la presencia de producto en el tejido después del proceso es menor.
Posibles adversidades	Se ha observado que en plantas en las que se utilizan lubricantes alternativos puede haber episodios de corrosión sobre los equipos. El uso de los productos alternativos requiere una limpieza cuidadosa de los equipos.
Aplicabilidad	Estos productos alternativos son aplicables a las fibras de poliéster, las fibras de poliamida 6.6, las fibras de poliamida 6 y la viscosa.
Coste económico	Aunque los lubricantes alternativos son más caros, al requerirse menor concentración para conseguir el mismo efecto, la diferencia de precio queda compensada. El uso de los productos alternativos supone un ahorro en el tratamiento de las emisiones y aguas residuales.

4.2.1.2 Lubricantes para la hilatura de la lana

Para la sustitución de los aceites minerales en los procesos de hilatura de la lana se proponen principalmente, productos basados en glicoles. Estos compuestos se caracterizan por tener una mayor biodegradabilidad que los aceites minerales y una menor capacidad de permanencia en el tejido.

Las características principales del empleo de lubricantes basados en glicoles para la hilatura de la lana son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la carga contaminante vertida en las aguas residuales. Reducción de la toxicidad de las aguas residuales.
Posibles adversidades	El uso de glicoles conlleva un aumento de la espuma en el tratamiento de las aguas residuales. Los lubricantes con base glicol presentan mayor dificultad para el tratamiento aeróbico de las aguas residuales.
Aplicabilidad	Algunas empresas reciben el hilo con el lubricante ya presente. Se trata de gestionar con los proveedores la eliminación de los lubricantes convencionales.
Coste económico	El coste es equiparable al empleo de los lubricantes convencionales.

4.2.1.3 Lubricantes para la fabricación del tejido

La fabricación del tejido requiere una correcta lubricación de las agujas y otros elementos mecánicos. La dosificación del lubricante en cada máquina dependerá de su velocidad, así como de sus características técnicas.

El tejido puede contener entre un 4 % y un 8 % de lubricante dependiendo de la maquinaria utilizada en su fabricación.

Se propone la sustitución de los aceites minerales convencionales por aceites hidrosolubles, especialmente eficaces en los tejidos de algodón y sus mezclas. Actualmente se utilizan parafinas hidrosolubles 14-30 átomos de carbono. Se realizan estudios sobre posibles lubricantes biodegradables, dada su importancia en las descargas de efluentes.

Las características principales del uso de aceites hidrosolubles como lubricantes para la fabricación del tejido son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua, energía y productos químicos. Tratamiento más sencillo de las aguas residuales.
Posibles adversidades	Los aceites hidrosolubles producen emulsiones, las cuales permanecen estables durante aproximadamente tres días. Se ha observado que en plantas en las que se utilizan aceites hidrosolubles puede haber episodios de corrosión sobre los equipos.
Aplicabilidad	Son aplicables a los tejidos de celulosa, de poliéster y de poliamida. Algunos tejidos sintéticos necesitan ser termofijados antes de ser lavados. En este caso se utiliza la opción «ruta seca», en la que el tejido recibe un termofijado antes del lavado y los humos resultantes son tratados en un precipitador electrostático recuperando el aceite y reduciendo la contaminación de las aguas residuales.
Coste económico	Si bien los aceites hidrosolubles son más caros, el elevado coste se compensa con la elevada productividad y el ahorro en el tratamiento de las aguas residuales.

4.2.2 Colas de aplicación a los hilos de urdimbre

El proceso de tisaje requiere la aplicación de colas a los hilos de urdimbre para evitar que estos se rompan mientras se tejen. La cola sobrante se extrae en el proceso de descolado, proceso que genera aproximadamente el 70 % de la DQO de las aguas residuales generadas.

4.2.2.1 Sustitución de las colas

En esta sección se analizan las colas basadas en poliácridatos como alternativa a las colas convencionales. Se trata de productos que pueden ser aplicados en cantidades menores que las colas convencionales, y pueden ser eliminados con agua y sin necesidad de auxiliares.

Las características principales del uso de colas basadas en poliácridatos son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se consigue una reducción del consumo de agua, energía y productos químicos. Se reduce la DQO generada en las aguas residuales. La reutilización de los poliacrilatos se considera viable.
Posibles adversidades	El uso de poliacrilatos debe realizarse a pH bajos, ya que en medios alcalinos el producto aumenta su viscosidad y su manipulación es más incómoda. Generan gran cantidad de lodos.
Aplicabilidad	Las colas alternativas pueden ser utilizadas en todo tipo de fibras excepto en los filamentos de poliéster y en algunos específicos tratamientos de acabado.
Coste económico	El coste es similar en las dos alternativas.

4.2.2.2 Reducción del uso de colas por prehumectación

Con el fin de reducir el uso de colas, el hilo de urdimbre se puede someter a un proceso de prehumectación. En este proceso, el hilo se baña en agua caliente antes de su encolado.

Las características principales de la prehumectación son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se disminuye la cantidad de cola aplicada entre un 20 y un 25 %, dependiendo del plegador de urdimbre y el tipo de fibra. Se reduce la generación de aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Se puede aplicar en todos los tipos de hilos de algodón y las mezclas de algodón/poliéster con viscosa. Sin embargo, los mejores resultados se consiguen en hilos medianos y gruesos. Su aplicación es posible para lotes de más de 5.000 metros.
Coste económico	El equipo de encolado con un sistema de prehumectación es entre 25.000 y 75.000 euros más caro que el convencional. Los costes operacionales son similares.

4.2.2.3 Minimización de colas por hilatura compacta

En la hilatura compacta, los filamentos de fibra se presionan ligeramente con dispositivos neumáticos, para aumentar su resistencia a la abrasión y reducir su fibrosidad. Este aumento de resistencia permite reducir la aplicación de colas.

Las características principales de la hilatura compacta son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se disminuye la cantidad de cola aplicada en un 50 %. Se reduce la carga contaminante de las aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Su aplicabilidad sólo ha sido probada en los hilos de algodón.
Economía	Los mayores costes operacionales de la hilatura compacta se compensan con el ahorro en colas.

4.2.3 Reducción de los insecticidas y pesticidas contenidos en las materias primas

En algunos de los principales países productores de lana y algodón, tanto el ganado como las plantaciones de algodón son tratados asiduamente con insecticidas y pesticidas diversos. Estos productos, y fundamentalmente los organoclorados y organofosfatados, prohibidos en la UE, se caracterizan por su toxicidad sobre el medio ambiente, su persistencia, así como su capacidad de bioacumulación. Por ello, la lana y el algodón procedente de estos países acostumbran a contener concentraciones importantes de insecticidas y pesticidas.

En las plantas de tintura y acabado, se generan aguas residuales que contienen pesticidas. Estas aguas son vertidas a la red de alcantarillado, con la consiguiente afección al medio. Además, en el caso de la lana lavada, dado que debe contener parte de su grasa natural, la grasa residual contenida en el producto final puede contener entre un 0,4 % y un 1 % de producto.

Para la reducción de las emisiones de insecticidas y pesticidas al medio, así como de su incorporación en los productos finales, se propone llevar a cabo un exhaustivo control de las materias primas recepcionadas (procedencia, contenido en insecticidas y pesticidas, etc.), y así evitar la entrada a la cadena de producción de insecticidas o pesticidas.

Las características principales de la aplicación de esta práctica son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se reduce la carga contaminante de las aguas residuales generadas. Se reduce el contenido de sustancias tóxicas en el producto final.
Posibles adversidades	-
Aplicabilidad	Es aplicable a todas las partidas de materia prima susceptibles de haber sido tratadas con insecticidas y pesticidas.
Economía	El cambio de proveedores puede conllevar un aumento del coste de la materia prima. Se reducen los costes de pretratamiento de la materia prima. Se reducen los costes de tratamiento de las aguas residuales generadas.

4.3 Sustitución de reactivos

Parte de los reactivos utilizados pueden ser perjudiciales para el medio ambiente. A continuación se propone la sustitución de estos reactivos por otros alternativos.

4.3.1 Sustitución de los tensioactivos con baja biodegradabilidad y alta toxicidad

La baja biodegradabilidad y la elevada toxicidad es una de las características habituales de gran parte de los tensioactivos empleados en el sector textil, como, por ejemplo, los alquilfenoles etoxilados. Una alternativa a estos productos son los alcoholes etoxilados, que son biodegradables y no forman compuestos tóxicos.

Las características principales del empleo de los alcoholes etoxilados son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	El uso de auxiliares sin alquilfenoles etoxilados reduce considerablemente el potencial tóxico de las aguas residuales y facilita el tratamiento de las aguas residuales generadas.
Posibles adversidades	Los productos alternativos al alquilfenol etoxilado son menos efectivos, requiriéndose mayor concentración de producto para conseguir el mismo efecto.
Aplicabilidad	Son aplicables tanto en las nuevas instalaciones como en las instalaciones existentes. Muchos tensioactivos se aplican en la preparación de la fibra y el hilo, por lo que algunas empresas reciben el producto con el tensioactivo ya presente. Se trata de gestionar con los proveedores su sustitución.
Coste económico	El coste de los reactivos alcoholes etoxilados es entre un 20 y un 25 % superior a los tensioactivos habituales.

4.3.2 Sustitución de los complejantes compuestos por nitrógeno y/o fósforo

Los complejantes utilizados en los pretratamientos y en la tintura son habitualmente polifosfatos, fosfonatos y ácidos amino carboxílicos (EDTA, DTPA y NTA). Se trata de sustancias no

biodegradables, o que contienen nitrógeno y fósforo en su estructura, y que al tratarse de nutrientes contribuyen a la eutrofización.

Una alternativa a los agentes complejos tradicionales son los policarboxilatos, ácidos policarboxílicos o bien polisacáridos, todos ellos libres de fósforo y nitrógeno.

En la siguiente tabla se compara entre los agentes complejos convencionales y los alternativos:

Propiedades	EDTA, DTPA	NTA	Polifosfatos	Fosfonatos	Policarboxilato	Polisacáridos
Biodegradable	No	Sí	Inorgánico	No	No	Sí
Bioeliminable	No	n.d.	n.d.	Sí	Sí	n.d.
Contiene Nitrógeno	Sí	Sí	No	No	No	No
Contiene Fósforo	No	No	Sí	Sí	No	No
Eliminación de los metales pesados	Sí	No	No	No	No	No

n.d.: no determinado

Las características principales de la utilización de los agentes complejantes libres de nitrógeno y fósforo son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se reduce la eutrofización provocada por las aguas residuales generadas. Se aumenta la capacidad de biodegradación del efluente final. Se reduce el riesgo de eliminación de metales pesados.
Posibles adversidades	Los agentes complejantes libres de nitrógeno y fósforo son menos efectivos.
Aplicabilidad	Los agentes complejantes alternativos pueden ser utilizados tanto en los procesos continuos como en los discontinuos.
Coste económico	Son más caros de aplicar, ya que al ser menos efectivos, se necesitan mayores cantidades.

4.3.3 Selección de agentes antiespumantes ambientalmente correctos

Los agentes antiespumantes son productos compuestos de aceites minerales, por lo que contribuyen a aumentar la carga orgánica de los efluentes finales.

Los agentes antiespumantes alternativos, libres de aceites minerales, están compuestos por siliconas, ésteres del ácido fosfórico, alcoholes grasos, tributilfosfatos, derivados de flúor y mezclas de estos componentes, aumentando así su grado de bioeliminación. Sin embargo, las siliconas no son biodegradables anaeróbicamente.

Las características principales de los antiespumantes libres de aceites minerales son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se minimiza la carga de hidrocarburos en los efluentes, disminuyendo la DQO y aumentando la capacidad de bioeliminación. Se reducen las emisiones de VOC en los procesos a altas temperaturas. Los antiespumantes compuestos de silicona tienen una alta eficiencia, por lo que se reduce la cantidad que se debe aplicar.
Posibles adversidades	Las siliconas son eliminadas solo por tratamientos abióticos de las aguas residuales. A ciertas concentraciones, los aceites de siliconas pueden impedir la difusión de oxígeno dentro del lodo activo. Los tributilfosfatos tienen un olor intenso y fuertemente irritante. Los alcoholes grasos tienen olor intenso y no pueden ser utilizadas en baños calientes.
Aplicabilidad	No existen limitaciones particulares para el uso de los antiespumantes libres de aceites minerales.
Coste económico	Los costes son equiparables.

4.4 Lavado de la lana

Para la extracción de la grasa de la lana se utilizan tanques de decantación, hidrociclones o decantadores, aunque también se pueden combinar los diferentes sistemas. El proceso se realiza con agua caliente. A continuación, se proponen dos sistemas para la optimización del desgrasado de la lana.

4.4.1 Sistemas de recuperación de la grasa de la lana

Los efluentes procedentes del desgrasado de la lana pueden ser recuperados y reciclados mediante sistemas de recuperación de la grasa de lana. La recuperación de la grasa contenida en los efluentes se realiza habitualmente mediante equipos de decantación o centrifugación, en agua caliente, los cuales separan el material extraído en tres fases:

- Fase superior: grasa anhidra, recuperable como subproducto
- Fase inferior: material no recuperable, compuesto principalmente de suciedad
- Fase media: fracción intermedia de las dos anteriores que se reintroduce de nuevo en la centrifugadora.

Las características principales de los sistemas de recuperación de la grasa de lana son los siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua de un 25 a un 50%. Reducción del consumo de energía. Recuperación de la grasa de la lana como subproducto. Reducción del consumo de detergentes y aditivos proporcional al ahorro de agua. Reducción de la carga contaminante en las aguas residuales.
Posibles adversidades	El residuo sólido resultante debe ser gestionado correctamente para no producir una posible contaminación del suelo.
Aplicabilidad	El sistema es aplicable tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones existentes.
Coste económico	Una instalación de estas características de capacidad de 15.000 a 25.000 t/año de grasa de lana puede costar entre 400.000 y 800.000 euros, y se amortiza en un periodo de dos a cuatro años.

4.4.2 Sistemas de minimización del consumo energético

El proceso de desgrasado de la lana se realiza normalmente en agua caliente, por lo que las posibilidades de ahorro energético son manifiestas. Algunas acciones para una minimización del consumo energético son:

- Tapar las barcas o cubas de desgrasado para evitar el escape de calor
- Aumentar el rendimiento de las prensas para optimizar la extracción mecánica del agua antes del secado
- Subir la temperatura de la última barca para mejorar la eficiencia de extracción.

Las características principales de los sistemas de minimización de energía son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de energía.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Sólo algunos de los sistemas de minimización de energía son aplicables en las instalaciones ya existentes
Coste económico	--

4.5 Pretratamiento

En este apartado se proponen alternativas de mejora para determinados procesos de pretratamiento.

4.5.1 Recuperación de los agentes de encolado por ultrafiltración

Los agentes de encolado se aplican al hilo con la finalidad de protegerlo durante el proceso de tejeduría, y deben ser eliminados, mediante un lavado con agua caliente, antes de los procesos de pretratamiento del textil, contribuyendo a un aumento de la carga de DQO, de las aguas residuales, de un 40-70 %.

Los agentes de encolado sintéticos y solubles en agua, como el alcohol polivinílico, los poliacrilatos y la carboximetilcelulosa, pueden ser recuperados del agua de lavado por ultrafiltración.

Las características principales del sistema de recuperación de los agentes de encolado por ultrafiltración son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la DQO de las aguas residuales en un 40-70 %. Recuperación de los agentes de encolado en un 80-85 %. Reducción de la producción de lodos. Reducción del consumo de energía.
Posibles adversidades	El proceso de ultrafiltración requiere energía. Sin embargo, la cantidad consumida es menor que la requerida para la producción de nuevos agentes de encolado.
Aplicabilidad	Esta técnica sólo es aplicable para los agentes de encolado sintéticos y solubles en agua como el alcohol polivinílico, los poliacrilatos y la carboximetil celulosa. El agente de encolado recuperado debe mantenerse en condiciones estériles. También pueden existir limitaciones de aplicabilidad cuando, además de los agentes de encolado, se utilizan otros agentes auxiliares, ya que estos permanecerán en el concentrado resultante de la ultrafiltración. Se aplica en empresas verticales.
Coste económico	La instalación de una planta de ultrafiltración tiene unos costes de inversión de entre 1.000.000 y 1.500.000 euros para una planta con una producción de 8.750 toneladas anuales de tejido. Para una planta de estas características, el ahorro anual estimado podría ser de aproximadamente 700.000 euros.

4.5.2 Aplicación de la ruta oxidativa para la eliminación de los agentes de encolado

Los tejidos, según el origen y la calidad del sustrato, pueden contener una gran diversidad de agentes de encolado. La mayoría de las industrias de acabado, que trabajan con muchos tipos de tejidos, están interesadas en un sistema rápido y fiable de eliminación de las impurezas de la fibra.

En condiciones específicas, con pH de aproximadamente 13, el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) genera radicales libres, los cuales realizan una degradación eficiente y uniforme de gran parte de los agentes de encolado (algunos agentes, como el almidón maíz, no degradan).

Las características principales de la ruta oxidativa para la eliminación de los agentes de encolado son:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua y energía. Facilita el posterior tratamiento de las aguas residuales.
Posibles adversidades	Puede haber problemas derivados de la manipulación del H ₂ O ₂ .
Aplicabilidad	Esta técnica es aplicable en nuevas instalaciones, así como en instalaciones ya existentes.
Coste económico	Se minimizan los costes de producción debido a la reducción del consumo de agua y energía.

4.5.3 Desencolado, descrudado y blanqueo en un único paso. Flash Steam y Pad Batch

Los procesos habituales de desencolado, blanqueo y descrudado del tejido de algodón y sus mezclas requieren varias fases, con los consiguientes consumos de agua, energía, reactivos y generación de aguas residuales. La realización de estos procesos en una sola fase significa un importante ahorro en energía y agua, así como un importante aumento de la productividad. El proceso se realiza con un desencolado, un descrudado alcalino (*cracking*) y un blanqueo con peróxido de hidrógeno.

Las características principales del sistema Flash Steam son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua y energía.
Posibles adversidades	Puede haber problemas derivados de la manipulación del H ₂ O ₂ .
Aplicabilidad	Esta técnica sólo es aplicable en instalaciones con maquinaria moderna.
Coste económico	Se minimizan los costes de producción al reducirse el consumo de agua y energía.

Cabe mencionar, asimismo, el proceso de desencolado, descrudado y blanqueo Pad Batch. El proceso consiste en la impregnación del tejido en frío, y lavado después de un periodo de reposo. El proceso tiene una duración de entre 12 y 48 horas, y se trata de uno de los sistemas más económicos.

4.5.4 Sustitución de los compuestos con cloro en el blanqueo

El producto más utilizado en los procesos de blanqueo es el hipoclorito sódico, a pesar de que su contenido en cloro da lugar a aguas residuales con elevados contenidos en AOX.

La alternativa a este producto es el peróxido de hidrógeno, mucho menos agresivo con el medio ambiente. Sin embargo, con este producto no se consigue un nivel de blancura tan elevado y, algunas veces, se combina con hipoclorito sódico.

Las características principales de la utilización del peróxido de hidrógeno son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se minimiza, y en algunos casos se elimina, la presencia de AOX en las aguas residuales.
Posibles adversidades	Es necesaria la aplicación de complejantes como estabilizadores del peróxido de hidrógeno. Estos pueden formar compuestos estables con metales y además, normalmente, presentan una baja biodegradabilidad. Para mejorar la blancura final, se suelen aplicar abrillantadores ópticos, los cuales contribuyen al aumento de DQO de las aguas residuales. Además, son productos irritantes, hecho que limita su uso solamente a determinadas prendas.
Aplicabilidad	Esta técnica es aplicable tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes. El peróxido de hidrógeno es aplicable para todos los tejidos de celulosa, lana y la mayoría de sus mezclas. También es aplicable a los géneros de punto hechos de algodón y sus mezclas.
Coste económico	En general, el blanqueo con peróxido de hidrógeno es más caro.

4.5.5 Minimización del consumo de agentes complejantes en el blanqueo con peróxido de hidrógeno

El blanqueo de sustratos con peróxido de hidrógeno puede dar lugar a la presencia en el agua de oxígeno en diferentes formas, debido a la presencia de trazas de hierro, siempre presentes en la materia, que catalizan la descomposición del peróxido de hidrógeno. Una de estas es el radical OH[·], cuya presencia en exceso puede atacar la fibra de celulosa, llevando a su despolimerización.

Para evitar el ataque de los radicales OH[·] a las fibras, se utilizan agentes complejantes, habitualmente formados por polifosfatos, fosfonatos o ácidos amino carboxílicos, que complejan las sales metálicas trivalentes. El uso de estos compuestos complejantes conlleva el aumento del contenido en fósforo en las aguas residuales generadas.

La preparación de los baños de blanqueo en condiciones idóneas (pH de 11,2 y control de la concentración en peróxido de hidrógeno) puede reducir considerablemente la presencia de radicales OH[·] en el agua y, por tanto, se puede derivar en la reducción del uso de los agentes complejantes.

Las características principales de la minimización del consumo de agentes complejantes en el blanqueo con peróxido de hidrógeno son:

Principales beneficios medioambientales	Se reduce el consumo de agentes complejantes hasta un 50 %. Se reduce el contenido de oxígeno en el agua y, por tanto, el riesgo de formarse compuestos estables con metales pesados.
Posibles adversidades	-
Aplicabilidad	Esta técnica es aplicable tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes.
Coste económico	Reducción de los costes en reactivos.

4.5.6 Descrudado enzimático

El descrudado enzimático con amilasas es un proceso convencional y estable utilizado habitualmente. Mediante este proceso, el tejido obtenido es más hidrófilo y se adquiere un mayor grado de blancura, pero el grado de limpieza es inferior al obtenido mediante el método oxidante. Recientemente se ha introducido el uso de pectinasas para este proceso, aunque esta en fase de laboratorio, con unos resultados poco satisfactorios hasta el momento.

En la tabla siguiente, se puede observar la reducción del consumo de agua y de carga de contaminantes en las aguas residuales del descrudado enzimático, en comparación con el descrudado convencional:

	Descrudado Enzimático	Descrudado enzimático + blanqueado con una concentración reducida de peróxido de hidrógeno y álcali
Reducción del consumo de agua de aclarado	20%	50%
Reducción de la carga contaminante en las aguas residuales	20% - 55% (*)	

(*) según datos facilitados por la Universitat Politècnica de Catalunya

Las principales características del descrudado enzimático son:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua en un 20%. Reducción del consumo de energía ya que los procesos se pueden aplicar a temperaturas más bajas. Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales. Reducción o eliminación de sustancias nocivas, en algunos casos.
Posibles adversidades	Los beneficios ambientales del descrudado enzimático no son nada claros. Las enzimas contribuyen a un aumento de la carga orgánica y además, su acción está basada en una hidrólisis más que en una oxidación. Un balance global del empleo de enzimas puede revelar, probablemente, que se produce una mejora ambiental no significativa.
Aplicabilidad	Puede ser usado en fibras celulósicas y todas sus mezclas, para tejidos y géneros de punto y en procesos continuos y discontinuos.
Coste económico	En general el descrudado enzimático resulta mas económico que el convencional.

4.5.7 Recuperación del álcali del mercerizado

En el proceso de mercerizado, el algodón se trata con una concentración de sosa cáustica de 270-300 g/l o bien 170-350g/kg de tejido, durante 40-50 segundos, y posteriormente se aclara para extraer la sosa cáustica.

En la recuperación, la sosa se concentra mediante evaporación para ser recirculada. En algunos casos, si necesita ser purificada, se realiza una sedimentación o una oxidación/flotación con inyección de peróxido de hidrógeno.

Las características principales de la recuperación del álcali del mercerizado son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción drástica de la carga alcalina de las aguas residuales. El ácido necesario para la neutralización de las aguas residuales también disminuye fuertemente.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Esta técnica puede ser implantada tanto en instalaciones de nueva construcción como en instalaciones ya existentes.
Coste económico	El coste de inversión depende del tamaño de la planta y del tipo de purificación aplicada, y varía entre 200.000 y 800.000 euros. Debido al ahorro en los costes operativos, el periodo de recuperación de la inversión puede llegar a ser de tan solo 1 año.

4.6 Tintura

4.6.1 Tintura

Este apartado tratará de las mejores técnicas disponibles que afectan a la tintura de poliéster.

4.6.1.1 Tintura por agotamiento de las fibras de poliéster y sus mezclas, sin carriers, o con carriers alternativos

Aunque habitualmente la tintura de las fibras de poliéster se realiza en autoclaves a temperaturas de 130 °C, en el caso de las mezclas de poliéster y lana, y debido a la sensibilidad de esta, el proceso de tintura se debe realizar a temperaturas inferiores a los 100 °C. Para ello, es necesario añadir *carriers*, con la finalidad de aumentar la velocidad de tintura.

Las sustancias activas utilizadas como *carriers* son:

- Monoclorobenceno, triclorobenceno, etc.
- o-fenilfenol
- Bifenil y otros hidrocarburos aromáticos
- Ftalatos.

Dado que las sustancias citadas anteriormente son tóxicas, pueden ser sustituidas por otras sustancias alternativas libres de cloro, basadas en:

- Benzilbenzoato,
- n-alquilftalimida.

Las características principales de la tintura por agotamiento sin *carriers* o con *carriers* alternativos son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción o eliminación de las emisiones de carriers. Empleo de sustancias fácilmente biodegradables. Mayor facilidad de depuración.
Posibles adversidades	Los carriers alternativos son menos efectivos que los convencionales y se requiere más tiempo y cantidad de producto para conseguir el mismo efecto.
Aplicabilidad	La tintura sin carriers sólo es aplicable cuando se utiliza maquinaria de alta temperatura (HT-dyeing). Este proceso no se puede realizar con mezclas de poliéster y lana. La tintura con carriers alternativos es aplicable a todos los tipos de poliéster y sus mezclas.
Coste económico	Los dos tipos de carriers son equiparables en costes.

4.6.1.2 Utilización de dispersantes bioeliminables en las formulaciones del baño de tintura

Para la tintura del poliéster y sus mezclas se utilizan diferentes tipos de colorantes, como los colorantes dispersos, los colorantes sulfurosos o los colorantes tina. Todos ellos requieren la adición de agentes dispersantes para asegurar la dispersión uniforme del tinte.

Los dispersantes convencionales se caracterizan por su bajo índice de biodegradabilidad, entre un 20 y un 30 %, y generan aguas residuales con elevadas DQO.

Se propone la sustitución de dispersantes convencionales por dispersantes biodegradables.

Estos pueden ser:

- Dispersantes basados en ésteres de ácidos grasos
- Dispersantes basados en mezclas de sales sódicas, compuestos aromáticos y/o ácido sulfúrico.

Las características principales de la utilización de dispersantes bioeliminables en el baño de tintura son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Aumento considerable del índice de bioeliminación. Entre un 90 y un 93 % en los ésteres de ácidos grasos, y de un 70 % en las mezclas de sales sódicas.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Los dispersantes basados en ésteres de ácidos grasos solamente pueden ser utilizados en las formulaciones líquidas de los colorantes dispersos, mientras que los restantes tienen una mayor versatilidad.
Coste económico	Los dispersantes alternativos propuestos tienen un mayor coste.

4.6.1.3 Tintura continua con colorante tina en un solo paso

La tintura convencional con colorantes tina consta de varios pasos:

- Impregnación con colorantes, tintura intermedia e impregnación con auxiliares
- Tratamiento al vapor
- Oxidación y lavado.

Se propone, como alternativa, eliminar el tratamiento al vapor y el lavado, y reducir a un único paso la impregnación de colorantes y auxiliares, realizando la tintura continua con colorante tina en un solo paso.

Las características principales de la tintura continua con colorantes tina en un solo paso son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua, energía y productos químicos.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Esta técnica es adecuada para la celulosa y las mezclas de celulosa y poliéster. Sin embargo, sólo es aplicable para colores pálidos.
Coste económico	Su aplicación es altamente rentable para grandes partidas, gracias al ahorro en agua, energía y sustancias químicas, así como la reducción del tiempo de proceso.

4.6.1.4 Tratamientos posteriores a la tintura de poliéster

El objetivo principal de los tratamientos posteriores a la tintura de poliéster es eliminar el colorante disperso no fijado en la fibra.

Si la tintura se ha realizado a alta temperatura, se realiza un baño de tintura ácido a temperatura de 70 °C, con un posterior baño reductor a 80 °C con hidrosulfito y agentes dispersantes, otro sistema reductor se basa en la dioxitiourea. El tejido final debe tener un pH entre 4 y 7 para que no adquiera coloración amarilla. Este proceso supone un importante consumo de agua y energía, así como de reactivos.

Se proponen las siguientes alternativas:

- Adición en el baño ácido de un agente reductor basado en un derivado del ácido sulfúrico.

La toxicidad de este agente es baja y además es biodegradable.

Las principales características de la adición en el baño de postratamiento de un agente reductor derivado del ácido sulfúrico en cadena corta son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua y energía. Reducción de la toxicidad y mayor biodegradabilidad del efluente generado, aunque sigue requiriendo un tratamiento. A diferencia de la ditionito sódico, el producto no es corrosivo, ni inflamable ni irritante, y tampoco produce olores desagradables.
Posibles adversidades	Los subproductos de la reacción de reducción pueden ser más tóxicos que los del colorante original.
Aplicabilidad	Apto en todo tipo de máquinas de tintura y válido para fibras de poliéster, acrílicas, acetato de celulosa y sus mezclas.
Coste económico	Con su aplicación se aumenta la productividad y se reducen los costes de recursos y de gestión de efluentes.

- Uso de colorantes dispersos que permitan el lavado en medio alcalino por solubilización hidrolítica.

Se trata de los colorantes azoicos dispersos, los cuales contienen en su formulación grupos de ftalamidas.

Las características principales del uso de colorantes azoicos dispersos son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la DQO de los efluentes finales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Utilizado en poliéster y mezcla de poliéster y algodón.
Coste económico	Inicialmente es más caro que el método tradicional, pero se ahorra tiempo, agua, energía y reactivos.

4.6.2 Tintura con colorantes sulfurosos con bajo contenido en sulfuro

Los colorantes sulfurosos se utilizan para la tintura del algodón en matices oscuros y cuando se necesita una velocidad elevada de tintura. Dado que estos colorantes son insolubles en agua, deben reducirse con sulfuro sódico. En algunos casos, el colorante sulfuroso ya lleva incorporado el componente reductor.

Los efluentes residuales generados por este tipo de colorantes son tóxicos, perjudiciales para el medio ambiente y generan malos olores.

Se propone el uso de colorantes con un bajo contenido en sulfuro, pudiéndose disminuir el uso de agentes reductores.

Las características principales del uso de colorantes sulfurosos con bajo contenido de sulfuro son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la cantidad de sulfuro en las aguas residuales. Reducción en el consumo de agentes de reducción.
Posibles adversidades	Cuando se utiliza ditionito sódico como reductor, el contenido en sulfuro de las aguas residuales debe tenerse en cuenta.
Aplicabilidad	Estos colorantes pueden ser usados tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes.
Coste económico	Los colorantes alternativos tienen un mayor coste que los colorantes sulfurosos convencionales.

4.6.3 Minimización de las pérdidas del baño de tintura en el proceso Fulard

Cada vez que se requiere un cambio de color, es necesario vaciar la pastera con las consiguientes pérdidas de baño. Una disminución del volumen del baño de la pastera puede

conseguir la reducción de las pérdidas de baño. Asimismo, un control en las entradas de materia prima, mezclando los componentes justo antes de depositarlos en la pastera, y calculando el producto necesario, o la reducción de la capacidad de la pastera, puede suponer un importante ahorro de materia prima y una reducción de los residuos generados.

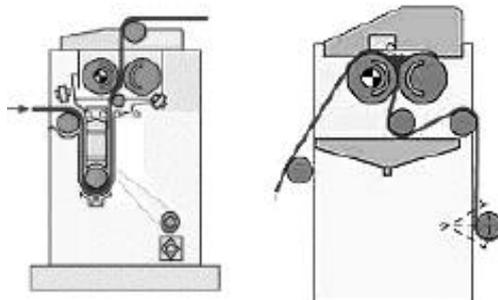


Figura 4.2. Equipos de minimización en la impregnación

Las características principales de la minimización de las pérdidas de baño en el proceso fullard son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de los residuos de tinte entre 60 y 90%. Reducción de las pérdidas de materia prima. Reducción del baño de tinte residual de 150 litros a 5-15 litros. Reducción de un 25 % del agua en aclarados.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	La aplicación es posible en instalaciones nuevas y en instalaciones existentes con procesos de tinte continuo y semicontinuo.
Coste económico	El coste de inversión de un sistema de dosificación automático y de minimización del volumen del baño es de unos 85.000 euros (para plantas de tejido a lo ancho de 1.800 mm). Sin embargo, los ahorros producidos por la minimización de las pérdidas pueden suponer la recuperación de la inversión en tan sólo 1 año.

4.6.4 Tintura con colorantes reactivos

En los procesos de tintura con colorantes reactivos se han identificado las siguientes alternativas.

4.6.4.1 Tintura por agotamiento de fibras de celulosa con alta fijación de colorantes reactivos polifuncionales.

La tintura con reactivos monofuncionales puede alcanzar un índice de fijación de los colorantes en el tejido de hasta un 60 %. Los estudios realizados con el fin de aumentar el grado de fijación demuestran que los colorantes con reactivos bifuncionales (dos grupos funcionales) consiguen un mayor índice de fijación, ya que la reacción de estos con la celulosa aumenta considerablemente.

Las características principales de la tintura de las fibras de celulosa con reactivos polifuncionales son:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la carga contaminante (colorantes) de las aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Puede ser aplicado en todo tipo de equipos.
Coste económico	Los colorantes polifuncionales son más caros que los convencionales. Sin embargo, el ahorro debido a una mayor fijación del colorante y la reducción de consumo es considerable.

4.6.4.2 Tratamiento posterior con enzimas en la tintura

El proceso de tintura con colorantes reactivos requiere unos lavados posteriores en los cuales se elimina la cantidad de colorante sobrante hidrolizado.

Se propone la sustitución del lavado convencional por un tratamiento enzimático, mediante el que se extraerá el colorante hidrolizado del tejido y del baño de tintura, reduciendo el consumo de agua y energía. Es aplicable en algunos colorantes, no en general.

En la siguiente tabla se muestran las principales diferencias, en los pasos de aclarado, entre ambos sistemas:

Tratamiento convencional	Tratamiento con enzimas
5 minutos de aclarado en overflow	5 minutos de aclarado en overflow
10 minutos en agua a 40 °C	10 minutos en agua a 40 °C, neutralización
10 minutos en agua a 40 °C, neutralización	10 minutos en agua a 60 °C
10 minutos en agua a 95 °C	10 minutos en agua a 95 °C
10 minutos en agua a 95 °C	10 minutos en agua a 50 °C, tratamiento enzimático
10 minutos en agua a 50 °C	10 minutos en agua a 30 °C
10 minutos en agua 30 °C	----

Las características principales del tratamiento posterior con enzimas son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	El tratamiento enzimático consigue un importante ahorro de reactivos, agua y energía.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Esta técnica sólo es aplicable a la tintura por agotamiento con colorantes reactivos.
Coste económico	Reducción de costes en energía, agua y reactivos.

4.6.4.3 Eliminación del empleo de detergentes en los lavados posteriores a la tintura de los tejidos de algodón

A menudo, los procesos de lavado con detergente, posteriores a la tintura, no mejoran la eliminación del colorante hidrolizado. Por ello, en numerosas actividades, después de la tintura con reactivos, el tejido se aclara con agua caliente sin el uso de detergentes. La calidad no se ve afectada y aumenta la velocidad del proceso.

Las características principales de los lavados posteriores a la tintura de los tejidos de algodón sin detergente son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo en detergente. Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales generadas.
Posibles adversidades	La sustitución del aclarado en frío por el aclarado en agua caliente supone un mayor consumo energético.
Aplicabilidad	La aplicación de esta técnica puede implicar un cambio en el tipo de colorantes utilizados.
Coste económico	El ahorro en detergentes se compensa por el mayor consumo en energía.

4.6.4.4 Proceso Econrol®, alternativo de la tintura continua y semicontinua convencional de los tejidos de celulosa con colorantes reactivos

En el proceso continuo convencional, Pad-Steam, se utilizan como reactivos la urea, el silicato sódico, así como otras sales diversas. El proceso se desarrolla a una velocidad del orden de 40

metros de tejido por minuto y a una temperatura de unos 115 °C. En el proceso alternativo, se aplica el colorante, un humectante y un álcali débil a bajas temperaturas, eliminando el consumo de urea, sales y silicatos sódicos.

Las características principales del proceso Econrol®, alternativo a la tintura continua y semicontinua convencional de los tejidos de celulosa con colorantes reactivos, son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Eliminación de la urea, sales y silicatos sódicos en el proceso. Reducción de la alcalinidad de las aguas residuales. Disminución del consumo de energía.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Es un proceso con una alta versatilidad y aplicabilidad.
Economía	El coste inicial para la instalación de un nuevo hot-flue es de aproximadamente 0,75 millones de euros. Este coste inicial, sin embargo, se compensa por la gran reducción de los costes en reactivos y energía, así como por la reducción del tiempo de proceso.

4.6.5 Colorantes con cromo

Las fibras proteicas requieren sales de cromo para la correcta fijación de los colorantes. En este apartado se describen algunos procesos de optimización de la tintura con colorantes con cromo.

4.6.5.1 Método de tintura de lana por cromatado posterior ultrabajo en cromo

La tintura con cromo de la lana es actualmente fundamental para la obtención de matices oscuros a precios competitivos y en calidades óptimas.

Para reducir el cromo de los efluentes residuales, se propone el uso del método por cromatado posterior ultrabajo en cromo. Este método, que es un paso previo a la eliminación del cromo (tintura de la lana sin cromo), consiste en la aplicación estequiométrica de cromo (bajo en cromo) o subestequiométrica (ultrabajo en cromo) junto con un control del pH entre 3.5 y 3.8, siendo opcional el uso de un agente reductor.

Las principales características del método por cromatado posterior ultra bajo en cromo para la tintura de la lana son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del contenido en cromo de las aguas residuales generadas.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Los métodos por cromatado posterior son fácilmente aplicables. Sin embargo, pueden afectar negativamente la reproducción adecuada de la sombra requerida.
Coste económico	La adición de agentes de reducción conlleva a un alargamiento del ciclo de tintura y a una reducción de la productividad y a un aumento de costes.

4.6.5.2 Tintura de lana sin cromo

La alternativa al dicromato sódico para la obtención de matices oscuros en la tintura de la lana son los colorantes reactivos bifuncionales, que generalmente contienen grupos reactivos bromo-acrilamida.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre los dos tipos de colorantes

	Colorante con cromo	Colorante reactivo bifuncional
Mecanismos de fijación	Molécula ácida	Enlace covalente
Índice de fijación del tinte	Colorante de cromo tradicional: 83 % Colorante de cromo optimizado: < 99 %	Colorante reactivo optimizado: < 95 %
Formulación	Solo un cromóforo cede color negro	Combinación de tintes necesaria para ceder colorante negro
Capacidad de igualación	Buena igualación	Depende de los auxiliares de tintura y la combinación de reactivos
Propiedad de solidez	Alta	Alta
Reproducibilidad	Difícil asociación de matices	Muy buena
Proceso de tintura	Dos pasos de tintura (tintura y cromado)	Un paso de tintura, aunque para matices oscuros se necesita un tratamiento posterior

Las características principales de la tintura de lana sin cromo son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Eliminación del cromo hexavalente.
Posibles adversidades	Los colorantes reactivos producen una mayor coloración de las aguas residuales. Los tintes reactivos pueden producir AOX en las aguas residuales. La tintura con tintes reactivos implica un mayor consumo de agua y energía.
Aplicabilidad	Los reactivos son adecuados para lana y poliamida y pueden ser aplicados en todo tipo de maquinaria.
Coste económico	Globalmente, costes similares en ambos procesos.

4.6.5.3 Reducción de las emisiones en la tintura de la lana con colorantes premetalizados

Los colorantes con cromo habitualmente utilizados en la tintura de la lana pueden ser sustituidos, en algunos casos, por los reactivos, así como por los llamados colorantes premetalizados.

Los colorantes premetalizados se deben utilizar bajo las siguientes condiciones:

- Con valores de pH determinados.
- Utilizando alcoholes grasos etoxilados como auxiliares.
- Reemplazando el ácido acético por ácido fórmico.

Las características principales del uso de colorantes premetalizados para la tintura de la lana son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Eliminación del cromo. Reducción de la DQO debido a la sustitución del ácido acético (1067 mg/g) por ácido fórmico (235 mg/g). Reducción del consumo de agua.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Los colorantes premetalizados se pueden aplicar en actividades ya existentes. Se puede aplicar al 50 % de la lana procesada anualmente.
Coste económico	El corto tiempo de proceso y la reducción del consumo de agua conlleva un importante ahorro.

4.6.6 Uso de liposomas como auxiliares en la tintura de lana

El uso de liposomas como auxiliares en la tintura de la lana con tintes ácidos es una alternativa a la tintura convencional.

También la tintura de las mezclas de lana/poliéster con tintes dispersos se debe realizar a temperaturas cercanas a los 100 °C y con baja concentración de *carriers*. Sin embargo, el uso de liposomas como agentes auxiliares incrementa la difusión del colorante dentro de la fibra de lana.

Las características principales del uso de liposomas como auxiliares en la tintura de la lana son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Ahorro de energía. Disminución de la DQO en las aguas residuales. Disminución de la conductividad en las aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	El uso de liposomas presenta una aplicabilidad general en la tintura de la lana.
Coste económico	El coste de los liposomas es compensado por el ahorro de energía y el aumento de la calidad del tejido.

4.6.7 Optimización de maquinaria

El constante desarrollo de nuevas tecnologías en el sector de la tintura permite reducir considerablemente los consumos de energía, agua y reactivos. A continuación se exponen algunas tecnologías de interés.

4.6.7.1 Optimización de los equipos en los baños de tintura

Los parámetros principales considerados en el diseño de nuevas tecnologías para la optimización de los procesos de tintura y sus beneficios medioambientales se muestran en la siguiente tabla:

Aspectos	Tecnología Actual	Mejora de la tecnología	Beneficios medioambientales
Dosificación de tintes y reactivos	Manual	Automatizado, controlado por microprocesador	Máximo aprovechamiento de los colorantes y reactivos Reducción de los vertidos
Control del nivel de baño y temperatura	Manual	Automatizado, controlado por microprocesador	Optimización del proceso Reducción de los vertidos
Calor	Vapor directo y ebullición	Calor indirecto	Reducción de la dilución y del derrame de agua
Cubiertas (campanas) y puertas de la máquina	Abiertas	Cerradas	Reducción de las pérdidas de energía y vapor
Relación del baño	Alta	Baja	Reducción del consumo de agua, energía y reactivos
Consecución de una relación de baño constante	Manual	Automatizada	Mayor eficiencia del proceso Posibilidad de obtener las mismas prestaciones con reducción de carga
Secuencias de las operaciones de baños y aclarados	Baños mezclados	Separación de baños	Se evita la contaminación de las aguas de aclarado Se evita la contaminación y el enfriamiento de los baños de tintura caliente Posibilidad de reutilizar los baños de tintura Mejora del tratamiento de las corrientes de agua concentradas
Aclarado	Técnicas de descarga y llenado	Aclarados y enjuagados de alta eficiencia y a contracorriente	Reducción del consumo de agua y energía en operaciones de aclarado

Las características principales de la optimización de los equipos en los baños de tintura son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Se detallan en el cuadro anterior.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	La mayoría de los principios enumerados son aplicables a todos los tipos de maquinaria para baños de tintura.
Coste económico	Los costes son muy variables según el tipo de equipamiento considerado.

4.6.7.2 Optimización de la tintura en barca torniquete

El torniquete es un sistema de tintura cerrado en el que el tejido se procesa en forma de cuerda. Los baños en el torniquete se realizan a presión atmosférica y pueden alcanzar altas temperaturas. Se utiliza para tejidos voluminosos y en aquellos casos en los que el producto requiere una suavidad específica. En el torniquete, el tejido viene en forma de cuerda y es un proceso discontinuo.

Las mejoras tecnológicas aplicadas a la tintura en torniquete son las siguientes:

- **Calor:** el baño se calienta con vapor a presión. Actualmente se utiliza más el método indirecto de calor/frío mediante la aplicación de agua.
- **Contacto baño-tejido:** el tejido y el baño circulan para mejorar el contacto entre ellos, asegurando una homogeneidad del baño y una óptima distribución del color en el tejido.

- Relación de baño: este sistema permite reducir la relación de baño.
- Aclarado: los torniquetes más actuales extraen el tejido en cuerda de la cuba y lo someten a un proceso de extracción al vacío. El producto recuperado se envía al baño de tintura. Posteriormente, el tejido se rocía con agua y se pasa por una segunda succión, donde se recoge el agua del aclarado.

Las características principales de la optimización de la tintura en torniquete son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua ente un 40 y un 50 %. Reducción del consumo de energía en un 30 %. Reducción del uso de reactivos. Reducción de la relación de baño.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	En principio, los elementos de los torniquetes nuevos no pueden ser actualizados en los torniquetes convencionales. Sin embargo, algunos equipos antiguos pueden ser mejorados con el hot-drawing-out systems
Coste económico	--

4.6.7.3 Optimización de la tintura en jet

En este apartado se exponen algunos procesos incorporados en la tintura en jet.

Máquina Airflow jet

En el sistema Airflow jet, el tejido se mueve impulsado con aire, a diferencia de los jet convencionales, que mueven el tejido con agua. De este modo, los colorantes y reactivos son inyectados al tejido directamente por una corriente de aire, con lo que se obtiene una mejor aplicación. El aclarado se realiza con una ducha de agua, sin que esta tenga más contacto con el tejido.

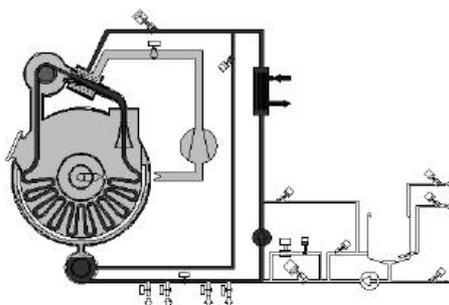


Figura 4.3: Máquina Airflow jet

Las características principales de la máquina Airflow jet son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de reactivos. Reducción considerable en el consumo de agua y energía térmica.
Posibles adversidades	Aumento del consumo eléctrico.
Aplicabilidad	Este sistema puede utilizarse para tejidos y géneros de punto y para casi todos los tipos de fibra.
Coste económico	La inversión en la nueva maquinaria es importante, aunque se puede amortizar en un periodo razonable. Aumenta el consumo de energía.

Sistema Soft-flow

El sistema Soft-flow, en circulación constante, se basa en la entrada de agua a un convertidor Bessemer (insufla aire caliente), sin que haya contacto entre el tejido y el baño. El aclarado es similar al del sistema Airflow jet.

Las características principales del sistema Soft-flow son las siguientes:

Beneficios medioambientales	Reducción del tiempo de proceso entre un 17 y un 40 %. Reducción del consumo de agua de un 50 %. Reducción del consumo de vapor entre a un 11 y un 37 %. Eficiente recuperación del calor.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Tejidos y géneros delicados de punto de fibras naturales y sintéticas.
Coste económico	La inversión en la nueva maquinaria es importante, aunque con el aumento de productividad el equipo se puede amortizar en un periodo razonable.

4.6.8 Recirculación del agua en los procesos discontinuos

Existen dos procesos para reutilizar el agua en los procesos discontinuos:

- El baño de tintura es bombeado a un tanque de vacío, mientras el producto es aclarado en el mismo equipo en el cual ha sido teñido.
- El producto se retira del baño de tintura y se coloca en otro equipo en el que se aclara.

Las características principales de la recirculación del agua son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua y reactivos. La reducción puede ser de 60 a 25 l/kg.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Existen numerosas limitaciones para su aplicación relacionadas con la segregación o no de los efluentes.
Coste económico	Los costes iniciales para la implantación en una planta de tintura de fibras de algodón y de poliéster, de sistemas de control de la temperatura y pH y sistemas de dosificación automática son de unos 0,8 millones de euros. Se consiguen importantes ahorros debido a la reducción del consumo de agua y de la cantidad de aguas residuales producidas.

4.6.9 Tintura por agotamiento con tintes reactivos, con baja aplicación de sales, para las fibras de celulosa

Tradicionalmente, la tintura por agotamiento de las fibras de celulosa con tintes reactivos requiere de elevadas cantidades de sal para la mejora del agotamiento (usualmente 50-60 g/l, aunque se puede llegar a más de 100 g/l en sombras profundas). Varios fabricantes de tinte han desarrollado tintes reactivos que sólo necesitan alrededor de dos terceras partes de estas cantidades, como por ejemplo:

- Cibacron LS (Ciba).
- Levafix OS (Dystar).
- Procion XL+ (Dystar).
- Sumifix HF (Sumitono).

La mayoría de estos tintes son polifuncionales y presentan un elevado nivel de fijación, cosa que favorece, además, una reducción de la cantidad de tinte no fijado en las aguas residuales.

Las características principales de la tintura por agotamiento con tintes reactivos, con baja aplicación de sales, para las fibras de celulosa son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de sales en un 33 % aproximadamente. Reducción de la salinidad de las aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Este tipo de tintes reactivos son aplicables tanto a instalaciones existentes como a nuevas instalaciones.
Coste económico	Los tintes reactivos, con baja aplicación de sales, son más caros que los convencionales. Sin embargo, debido a la reducción en el uso de sales, la aplicación de estos tintes puede suponer un beneficio económico.

4.6.10 Eliminación del uso de detergentes en el lavado posterior de la tintura del algodón con tintes reactivos

Se ha comprobado que el uso de detergentes no mejora la eliminación de los tintes reactivos hidrolizados del tejido. En cambio, los estudios realizados con aclarados a diferentes temperaturas han demostrado que este es más efectivo y rápido a altas temperaturas.

Las características principales de la eliminación del uso de detergentes en el lavado posterior de la tintura del algodón con tintes reactivos son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del uso de detergentes y, por consiguiente, de la carga contaminante de las aguas residuales resultantes del proceso. Reducción de la cantidad de productos químicos empleados para la destrucción de los tintes reactivos.
Posibles adversidades	Sustituir agua fría por agua caliente conlleva un mayor consumo de energía, siempre y cuando la energía térmica del efluente de aclarado no se recupere.
Aplicabilidad	La eliminación de los detergentes en el aclarado sólo se aplica en los procesos de aclarado de los tejidos y géneros de punto hechos de algodón y mezclas de algodón y poliéster teñidos con tintes reactivos.
Coste económico	Los únicos cambios en el proceso son la omisión de detergentes y el aumento de temperatura del agua. Los beneficios dependerán de la cantidad de detergente no usado.

4.7 Estampación

4.7.1 Sustitución de la urea en estampación con reactivos

La aplicación de la urea en la estampación con reactivos tiene como finalidad aumentar la solubilidad de los colorantes, facilitar la migración del colorante hacia la fibra y mejorar la reproducibilidad.

La urea puede ser sustituida con un incremento de humedad de un 10 % para tejidos de algodón, de un 15 % para mezclas de algodón y de un 20 % para tejidos de viscosa. La humedad puede ser incrementada mediante la aplicación de espumas o rociando el tejido con vapor de agua.

Las características principales de la sustitución de la urea son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	La reducción del uso de urea reduce la carga contaminante de las aguas residuales generadas.
Posibles adversidades	Implica un mayor consumo de energía; sin embargo, la cantidad consumida no es significativamente importante.
Aplicabilidad	Se puede aplicar tanto en actividades ya existentes como en nuevas instalaciones. En los tejidos de viscosa o de seda no es posible eliminar del todo el uso de urea con el sistema de rociado, ya que en caso contrario, no se consigue una calidad estándar.
Coste económico	La inversión en equipos de aplicación de humedad oscila entre los 3.000 y los 200.000 euros. Las técnicas de espuma, para ser viables, deben realizarse en plantas con capacidad de 30.000, 50.000, 140.000 metros lineales por día.

4.7.2 Estampación con pigmentos en pastas ambientalmente más correctas

La etapa final de la estampación con pigmentos consiste en secar y fijar el tejido estampado con aire caliente.

La nueva generación de espesantes o coagulantes contiene una pequeña cantidad de disolventes orgánicos, basados en ácido poliacrílico o polietilenglicol, en sustitución de los componentes convencionales, basados en aceites minerales. También se han desarrollado productos sin disolventes orgánicos, suministrados en forma granulada o en polvo y pastas de estampación sin amoníaco.

Las características principales de la estampación con pigmentos en pastas ambientalmente más correctas son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Optimizando las pastas de estampación, las emisiones de amoníaco pueden reducirse por debajo de 0,6 g NH ₃ /kg textil.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	La técnica es aplicable en instalaciones nuevas y en instalaciones ya existentes.
Coste económico	El coste añadido de las pastas de estampación es compensado por la reducción del tratamiento del aire.

4.7.3 Recuperación de la pasta de estampación desde el sistema de suministro en la estampación con cilindros microperforados

Se trata de una técnica que permite la recuperación de la pasta de estampación al final de cada pasada con una rasqueta, para su deposición en el sistema de suministro.

Las características principales de la recuperación de la pasta de estampación desde el sistema de suministro en la estampadora con cilindros microperforados son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de las pérdidas de pasta. Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Es utilizada en nuevas instalaciones y se puede utilizar en algunas máquinas ya existentes.
Coste económico	El periodo de amortización de la aplicación de esta técnica de recuperación es de dos a tres años.

4.7.4 Minimización del volumen de pasta de estampación suministrada en la estampación con cilindros microperforados

El volumen de pasta de estampación suministrada en la estampadora rotativa depende del diámetro de los tubos y del aplicador, así como del diseño de la bomba y de la longitud de los tubos.

En una estampadora rotativa puede haber más de 20 aplicadores, que tienen que ser limpiados cada vez que se cambia de color o modelo, lo que provoca que una cantidad considerable de pasta de estampación vaya a parar a las aguas residuales.

Actualmente, existen bombas que pueden operar en ambas direcciones. De esta manera, al final de cada lote, la pasta de estampación puede ser bombeada, en sentido contrario, hacia el depósito.

Las características principales de la minimización del volumen de pasta de estampación suministrada en la estampadora rotativa son:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la aplicación de pasta de estampación en más de un 33 %. Reducción de las pérdidas de pasta de estampación.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Estas medidas son aplicables tanto en instalaciones ya existentes como en nuevas instalaciones.
Coste económico	La instalación de 12 piezas de minimización del volumen de aplicadores y tubos tiene un coste de implantación de 25.000 euros.

4.7.5 Reciclaje de las pastas de estampación residuales

Las pastas de estampación tienen una alta concentración de colorantes, espesantes y otros auxiliares. A menudo, las pastas de estampación son desechadas, cuando, en realidad, se podrían reutilizar.

Para el reciclaje de las pastas de estampación es necesario un sistema electrónico que determine la composición de la pasta recuperada después de cada pasada. Su composición queda registrada electrónicamente y el programa calcula la nueva fórmula, teniendo en cuenta la cantidad, composición y durabilidad de la pasta recuperada.

Las características principales del reciclaje de las pastas de estampación residuales son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de pasta de hasta un 50 %. Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales generadas. Reducción de los residuos sólidos generados.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Los sistemas de reciclaje de las pastas de estampación son aplicables tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes. Estos sistemas no son aplicables en el sector de las alfombras.
Coste económico	El periodo de amortización puede variar entre 2 y 5 años. El coste de inversión puede variar entre 0,5 y 1 millón de euros, dependiendo del tamaño y de las diferentes pastas de estampación.

4.7.6 Reducción del consumo de agua en operaciones de limpieza

Los equipos utilizados en el proceso de estampado (rasqueta, el sistema de alimentación de las pastas y la cubeta) requieren una cuidadosa limpieza antes de proceder a un cambio de color. Esto supone un importante consumo de recursos, principalmente de agua.

Para reducir el consumo de agua en estos trabajos de limpieza se proponen las siguientes acciones:

- Control de limpieza empezar/parar de acuerdo al funcionamiento de la línea
- Extracción mecánica de la pasta de estampación
- Reutilización del agua usada en el aclarado (menos sucio) para limpiar los equipos
- Reutilización del agua de aclarado por filtrado mecánico.

Las características principales de los sistemas de reducción del consumo de agua en operaciones de limpieza son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del uso de agua de hasta un 70 %.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	La mayoría de estas técnicas pueden ser aplicadas tanto en instalaciones nuevas como en instalaciones ya existentes. La extracción mecánica no puede aplicarse en máquinas ya existentes.
Coste económico	La implantación de todos los sistemas anteriormente mencionados supone una inversión de aproximadamente 13.000 euros. Sin embargo, el ahorro económico de la implantación de estas técnicas es de aproximadamente 9.000 euros por año, al considerarse un ahorro de 25.000 m3 de agua.

4.7.7 Estampación digital

La estampación digital es un sistema que se puede aplicar a la industria del tejido plano y preferiblemente en pasadas inferiores de 100 m. De igual manera que en el apartado anterior, esta técnica consigue importantes ahorros en el consumo de materias primas y agua. En este proceso, inicialmente se cubre el tejido con urea y espesantes, y posteriormente se realiza el primer secado y la fijación.

Las características principales de la estampación digital son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de pasta de estampación y de la generación de residuos derivados, aunque generan otros residuos, como los de tinta de disolventes de limpieza. Reducción del consumo de agua, ya que no se necesitan lavados posteriores.
Posibles adversidades	La estampación digital es considerada como una tecnología limpia. Sin embargo, no puede considerarse como tal cuando se estampa en continuo ni cuando se utilizan disolventes para evitar la obturación de los jets.
Aplicabilidad	La tecnología digital sólo es aplicable para los tejidos planos.
Coste económico	La alta flexibilidad y la rapidez de entrega en pequeños encargos compensan el coste de la máquina.

4.8 Aprestos y Acabados

4.8.1 Minimización del consumo de energía en la rame

Para la reducción del consumo de energía en la rame se proponen las siguientes técnicas:

- Reducción de la humedad antes de la entrada del tejido en la rame mediante la extracción mecánica de agua.
- Recuperación del calor mediante un intercambiador de calor aire-agua. Se puede ahorrar hasta un 70 % de energía.
- Optimización del calor mediante sistemas de termoaislamiento de la rame. Se pueden reducir las pérdidas de calor en un 20 %.
- Reducción de emisiones, mediante cámaras de combustión y controlando las emisiones de metano.

Las características principales de los sistemas de minimización del consumo de energía en la rame son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de energía y de las emisiones a la atmósfera.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Es aplicable en nuevas instalaciones. Sin embargo, su aplicación es limitada en las rames ya existentes.
Coste económico	Se consiguen importantes reducciones en los costes energéticos.

4.8.2 Aprestos de fácil cuidado exento o bajo en formaldehído

Los aprestos de fácil cuidado tienen el objetivo de conseguir un aumento en la resistencia a la fijación de las arrugas durante el uso (inarrugabilidad), la eliminación durante el secado de las arrugas producidas por el lavado (efecto *wash and wear*), o la mejor estabilidad dimensional después de limpiezas húmeda y en seco en materias celulósicas. Para ello, la mayor parte de los productos usados contienen formaldehído, compuesto cancerígeno. La alternativa se presenta en productos que contengan baja cantidad o que carezcan de formaldehído.

Las características principales de los aprestos de fácil cuidado exentos o bajos en formaldehído son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Eliminación o reducción de las emisiones de formaldehídos. Eliminación o reducción del contenido en formaldehídos en los tejidos (< 75 mg/kg textil).
Posibles adversidades	--
Aplicación	La aplicación es similar a la utilizada con los formaldehídos convencionales.
Economía	Los productos alternativos tienen un menor coste.

4.8.3 Minimización de los agentes suavizantes en los procesos Batch

En los procesos Batch, la aplicación de los agentes suavizantes se realiza habitualmente en el mismo equipo de tintura, una vez ha sido aplicado el tinte.

Este proceso conlleva la pérdida de parte del suavizante, aproximadamente entre el 10 y el 20%, y dificulta la reutilización de los baños de enjuague.

Mediante el uso de equipos independientes para la tintura y la aplicación de suavizantes, así como el uso de suavizantes catiónicos, se consigue reutilizar los baños de enjuague, aumentar la concentración de sustancias activas y, en consecuencia, reducir considerablemente las pérdidas de producto.

Las características principales son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agentes suavizantes. Reducción del producto vertido a las aguas residuales.
Posibles adversidades	Requiere la duplicidad de los equipos.
Aplicación	Aplicable a todo el sector textil.
Economía	Reducción de costes de reactivos, energía y agua.

4.8.4 Minimización de las emisiones generadas por la aplicación de productos insecticidas

La aplicación de insecticidas, fundamentalmente antipolillas, en los tejidos puede dar lugar a la generación de aguas residuales con un cierto contenido en estas sustancias.

La optimización del producto en los baños de tintura y la reutilización de los enjuagues puede favorecer el aprovechamiento del producto, así como la reducción de los vertidos:

- Optimización del producto en los baños de tintura: la aplicación del producto insecticida se puede realizar juntamente con el baño de tintura. Dado que la absorción del producto insecticida en el tejido es mayor cuando el baño está en medio ácido, la reducción del baño a un pH de 4 puede favorecer el aprovechamiento de dicho producto, con el consiguiente ahorro de materia prima y reducción de producto vertido.
- Recuperación del baño de enjuague: mediante la recuperación de los enjuagues, cargados de producto insecticida, se consigue la recuperación de gran parte del producto.

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de materia prima. Reducción del vertido de producto insecticida en un 90 %.
Posibles adversidades	El ciclo de la tintura se puede alargar 30 minutos, por lo que puede repercutir en la producción.
Aplicación	Se aplica a todas las instalaciones.
Economía	El consumo de energía aumenta sensiblemente debido al alargamiento del ciclo.

4.9 Lavado

4.9.1 Optimización del uso de agua y de energía en los procesos de lavado y aclarado discontinuos

Para la reducción de los consumos de agua y energía en los procesos de lavado y aclarado discontinuos se proponen las siguientes alternativas:

- Vaciado/drenado: consiste en vaciar y llenar varias veces el equipo de forma programada.

- Aclarado inteligente: se consigue un equilibrio entre el agua drenada y de entrada, manteniendo niveles bajos de consumo de agua.

Las características principales de la optimización del uso de agua y de energía en los procesos de lavado y aclarado discontinuos son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua. Se mantienen los baños agotados de tintura y el agua de aclarado en diferentes corrientes, con lo que es posible reutilizar el agua
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	El método «Drenar y vaciar» es aplicable en fábricas nuevas y existentes, siendo más eficientes en relaciones de baño bajas con los dispositivos en ahorro de tiempo. Los dos métodos descritos se encuentran disponibles en las nuevas máquinas jet y overflow.
Economía	Los métodos descritos aportan un ahorro de agua y ciclos de producción cortos, de tal modo que se obtiene una reducción total del coste de producción.

4.9.2 Conservación del agua y la energía en el lavado y aclarado continuo

Se puede conseguir una reducción en el consumo de agua y energía aumentando la eficiencia en el lavado o bien mediante la aplicación de medidas de control con el fin de reducir el exceso de agua innecesaria.

Los métodos de reducción de consumo de agua y energía en el aclarado continuo son:

- Controlar el flujo de agua: un control en el consumo del agua, en cada una de las máquinas, para optimizar el flujo de agua. Se utilizan válvulas de parada automática.
- Aumentar la eficiencia del lavado: se consigue mediante un lavado a contracorriente o bien reduciendo el agua contaminante, que se transfiere a los siguientes pasos de lavado instalando rodillos de exprimido.
- Instalar equipos para la recuperación del calor.

Las características principales de los sistemas de conservación del agua y la energía en el lavado y aclarado continuo son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua y energía. En el aumento de la eficiencia del lavado con un bajo consumo de agua se necesitan condiciones de lavado mecánicas, como rociar y succionar, utilizando un alto consumo de energía, lo que se puede complementar con la opción C, en la cual hay una recuperación de la energía térmica.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	En las opciones B y C se necesita la inversión en nuevos equipos. La opción A se puede aplicar en las máquinas ya existentes.
Coste económico	La inversión para la aplicación de todas las técnicas citadas puede ser del orden de unos 2,5 millones de euros, permitiendo un consumo de agua de tan sólo 9 l/kg.

4.10 Técnicas de tratamiento de las corrientes residuales generadas

En este apartado se describen las principales técnicas de tratamiento de las corrientes residuales generadas por el sector textil. Estas técnicas han sido agrupadas según sea el medio receptor:

- Tratamiento de las aguas residuales
- Tratamiento de las emisiones al aire
- Gestión de fangos.

4.10.1 Tratamiento de las aguas residuales

Los principales tratamientos de las aguas residuales generadas en el sector textil son:

- Tratamiento en plantas de fangos activados con baja relación (F/M)
- Tratamiento biológico, físico y químico
- Tratamiento de determinados efluentes con membranas técnicas
- Tratamiento anaeróbico de las pastas de estampación y los baños de tintura
- Tratamiento de determinados efluentes no biodegradables con oxidación química
- Tratamiento mediante floculación/precipitación.

4.10.1.1 Tratamiento en plantas de fangos activados de carga reducida

Las plantas de fangos activados de carga reducida, es decir, con baja relación de alimento por microorganismos (Food/Microorganisms), son muy utilizadas en la depuración de las aguas residuales del sector textil.

Se trata de un tratamiento de digestión aerobia que permite eliminar los compuestos biodegradables del efluente residual, de acuerdo con las características descritas en la tabla siguiente:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la carga orgánica de las aguas residuales.
Posibles adversidades	El tratamiento no es suficiente para eliminar los componentes no biodegradables de las aguas residuales. Por este motivo, esta planta debe ir acompañada de otros tratamientos adicionales.
Aplicabilidad	Esta técnica puede ser aplicada en plantas existentes y en plantas de nueva construcción para todo tipo de aguas residuales.
Coste económico	Para conseguir una baja relación de F/M se requieren tanques de aireación de gran tamaño. Esto supone una fuerte inversión inicial.

4.10.1.2 Tratamiento combinado Biológico, Químico y Físico

El tratamiento en plantas de fangos activados de carga reducida permite la eliminación de las sustancias biodegradables de las aguas residuales. Sin embargo, esta técnica no es suficiente para la eliminación de los componentes no biodegradables. Por este motivo, en la mayoría de casos, se aplican tratamientos físicos y químicos adicionales. Los tratamientos físico-químicos como floculación, precipitación, ozonización, etc. se pueden aplicar antes, durante o después del sistema biológico.

Uno de los tratamientos posibles aplicable durante la depuración biológica es el llamado sistema PACT (Tratamiento con Carbón Activo en Polvo). Es un sistema que combina los tratamientos

biológicos, físicos y químicos, realizando simultáneamente una biodegradación, una adsorción y una coagulación de los componentes presentes en las aguas residuales.

Las principales características de este sistema son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Mejora de la eliminación de los componentes orgánicos. Eliminación de los compuestos no biodegradables. Reducción de la producción de lodos. Reducción del consumo de energía en el proceso de aireación.
Posibles adversidades	--
Aplicabilidad	Esta técnica puede ser aplicada tanto en instalaciones nuevas como en instalaciones existentes en las que exista un sistema de tratamiento biológico y se aplique, además, un sistema de retención de sólidos.
Coste económico	Este sistema implica un importante coste económico inicial. También debe considerarse su coste operacional.

4.10.1.3 Tratamiento con técnicas de membrana

Las técnicas de membrana se aplican para el tratamiento de determinados efluentes y permiten la reutilización de las aguas residuales, así como, en ocasiones, la recuperación del producto retenido en la membrana para su posterior reutilización. Dado que las características de la membrana permeable deben ser específicas para un tipo concreto de contaminante, es importante la segregación de efluentes. De no ser así, se corre en peligro de obstruir la membrana (si el contaminante tiene un diámetro superior al del poro de esta) o, en caso contrario, de no conseguir tratamiento alguno. Pueden ser aplicadas en efluentes procedentes de operaciones de tintura, de desencolado, etc.

Las principales características de los tratamientos con técnicas de membrana son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción del consumo de agua en un 60 %. Reducción de la emisión de aguas residuales en un 60 %. Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales. Posible reducción del consumo de reactivos.
Posibles adversidades	Este sistema de tratamiento implica un consumo de energía importante (aproximadamente 20 kWh/m ³). Los residuos resultantes, en caso de que no puedan ser reutilizados, deben ser gestionados como residuos peligrosos.
Aplicabilidad	Esta técnica se puede aplicar a todas las industrias de acabado que dispongan de un sistema de segregación de los diferentes efluentes residuales.
Coste económico	El coste de una membrana para el tratamiento de un efluente con un flujo de 10 m ³ /h es de aproximadamente 1 millón de euros. El coste operacional energético también es importante.

4.10.1.4 Tratamiento anaeróbico de las pastas de estampación y de los baños de tintura

Las pastas de estampación y los baños de tintura de los procesos de tintura continua y semicontinua contienen una alta concentración de materia orgánica procedente de los colorantes azoicos. Por este motivo, estos materiales pueden ser tratados en digestores anaeróbicos, que presentan las siguientes características:

Principales beneficios medioambientales	Los tratamientos anaeróbicos alcanzan una eficiencia de eliminación del color de más del 90 %, con colorantes azoicos. También se consigue una gran eficiencia en las pastas de estampación que contienen agentes espesantes. En los otros tipos de colorantes y pastas de estampación, solamente se pueden conseguir reducciones de color residual de un 50 %.
Posibles adversidades	La reducción de los enlaces azoicos originada en el proceso genera aminas aromáticas, algunas de las cuales podrían ser carcinógenas. Sin embargo, en las investigaciones realizadas hasta el momento, no se han detectado este tipo de aminas.

Aplicabilidad	Esta técnica puede ser aplicada tanto en instalaciones ya existentes como en nuevas instalaciones. No es aplicable con colorantes tina ni con pigmentos.
Coste económico	El tratamiento anaeróbico presenta unos costes de entre 30 y 60 euros por tonelada tratada.

4.10.1.5 Tratamiento de determinados efluentes no biodegradables con oxidación química

Las aguas residuales no biodegradables generadas en los diversos procesos de acabado, como por ejemplo en el desencolado y la tintura, pueden ser tratadas mediante oxidación en un reactor a una temperatura de 100-130 °C y a una presión de 3 bares. Los principales agentes de oxidación son el peróxido de hidrógeno, el ozono y el oxígeno molecular.

El tratamiento con oxidación química presenta las siguientes características:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de la DQO en un 70-85 %. Además, la DQO residual es fácilmente biodegradable debido a la modificación de los compuestos durante la oxidación. Se obtiene una decoloración de más del 90 %.
Posibles adversidades	La oxidación química de las aguas residuales implica un considerable consumo de energía, aunque no excesivo. Se produce generación de fangos férricos.
Aplicabilidad	La técnica de oxidación es aplicable tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes. Se requiere una segregación de los diferentes flujos de aguas residuales no biodegradables.
Coste económico	El coste de implantación de un reactor oxidativo para un flujo de 4-5 m ³ /h es de aproximadamente 230.000 euros. El coste operativo, incluyendo las sustancias químicas, es de unos 3 euros por metro cúbico.

4.10.1.6 Tratamiento mediante floculación/precipitación

Aunque esta técnica ha sido utilizada desde hace más de 100 años, en la actualidad, para la separación de los contaminantes se realiza un proceso de sedimentación, con agentes de floculación, combinado con un sistema de tratamiento por flotación de aire disuelto (DAF). Los agentes de floculación se seleccionan específicamente para maximizar la eliminación de la DQO y del color, y reducir, al mínimo, la formación de lodo. En la mayoría de casos, los mejores rendimientos se obtienen con una combinación de sulfato de aluminio y floculantes catiónicos orgánicos junto con pequeñas cantidades de polielectrolitos aniónicos.

El tratamiento mediante floculación/precipitación presenta las siguientes características:

Principales beneficios medioambientales	La reducción de la DQO es de alrededor un 40-50 %. Sin embargo, cuando los efluentes presentan un alto contenido de compuestos insolubles, la DQO puede alcanzar valores superiores. Se obtiene una decoloración de más de un 90 %.
Posibles adversidades	Los lodos resultantes contienen una alta cantidad de componentes orgánicos y deben ser gestionados adecuadamente.
Aplicabilidad	La técnica es aplicable tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes.

4.10.2 Tratamiento de las emisiones a la atmósfera

Las técnicas de tratamiento de las emisiones a la atmósfera utilizadas en el sector textil son las siguientes:

- Técnicas de oxidación (incineración térmica, incineración catalítica).

- Técnicas de condensación (intercambiadores de calor).
- Técnicas de absorción (scrubbers húmedos).
- Técnicas de separación de partículas (precipitadores electrostáticos, ciclones, filtros de mangas).
- Técnicas de adsorción (carbón activo).

Según el tipo de emisión generada, estas técnicas se pueden aplicar de forma individual o combinadas. Los sistemas de tratamiento más utilizados en el sector textil son:

- Scrubbers húmedos.
- Combinación de scrubber húmedo y precipitación electrostática.
- Combinación de intercambiador de calor, scrubber húmedo y precipitación electrostática.
- Intercambiadores de calor.
- Adsorción con carbón activo.

Las características principales de los tratamientos de las emisiones al aire son las siguientes:

Principales beneficios medioambientales	Reducción de las emisiones al aire de COV, partículas y sustancias tóxicas y minimización de los malos olores.
Posibles adversidades	Implica una alta demanda de energía. En la incineración, se produce una elevada emisión de CO ₂ . Sin embargo, el sistema presenta una valoración ambiental positiva debido al gran beneficio de la eliminación de los COV. En el scrubber húmedo, los contaminantes se traspasan del aire al agua. Es necesario un tratamiento eficiente de estas aguas residuales.
Aplicabilidad	Todas las técnicas son aplicables tanto en nuevas instalaciones como en instalaciones ya existentes.
Coste económico	Además de los costes de implantación, deben considerarse los costes operativos, que pueden llegar a ser importantes (mantenimiento y electricidad).

4.10.3 Gestión de fangos

Las aguas residuales generadas en los diferentes procesos de pretratamiento, tintura, estampación o acabados son sometidas a procesos de tratamiento que permitan el vertido de las aguas al medio, de acuerdo con la normativa correspondiente. El tratamiento de estas aguas puede generar fangos, los cuales deben ser gestionados correctamente.

Si bien la gestión más habitual de los lodos generados es la deposición en vertedero controlado, existen diversas posibilidades de valorización, dependiendo del contenido específico del lodo. Las posibilidades más destacadas son las siguientes:

- Fabricación de compost: para lodos con elevado contenido en materia orgánica.
- Valorización energética en fábricas de cemento: para lodos con elevado contenido combustible, siempre y cuando no contengan metales que puedan alterar la calidad del producto final.
- Fabricación de ladrillos: para lodos con bajo contenido en materia orgánica.
- Biometanización: para lodos con elevado contenido en materia orgánica.

4.11 Valores de emisión asociados a MTD

Una de las características principales del sector de la industria textil es su complejidad, tanto por la diversidad de procesos existentes, como por la imposibilidad de establecer un proceso productivo estándar, supeditado a las características particulares de cada producto. Una de las consecuencias de esta complejidad es la diversidad de los efluentes generados, tanto desde un punto de vista cuantitativo como cualitativo.

En el presente apartado se exponen los valores (rangos) de emisión correspondientes a los diferentes procesos productivos. Los datos expuestos corresponden a datos reales de plantas en funcionamiento, en las cuales se pueden solapar diferentes procesos (tinturas de diferentes tipos con pretratamientos o acabados), así como de otras fuentes. Es por este motivo que la variación entre valores máximos y mínimos puede ser en algunos casos importante, por lo que éstos deben tener una función indicativa en general

Asimismo, se expone la reducción de emisiones esperada derivada de la aplicación de determinadas MTD. Siempre que sea posible se propondrá un rango de reducción de la carga contaminante. En caso de que no sea posible establecer un valor, se señalará con la expresión “no cuantificado”.

Los valores de emisión de aguas residuales son los siguientes:

Proceso	Desgrasado de lana
Parámetro	DQO (mg/l)
Concentración máxima de vertido	10.000 – 35.000
Reducción de la carga contaminante por aplicación de MTD:	
Tratamiento físico-químico	25 % - 75 %
Evaporación	97,5 %
Sistemas de recuperación de la grasa de lana	no cuantificado

DQO: demanda química de oxígeno
no cuantificado: no se dispone de datos precisos relativos a la cuantificación de la reducción de la carga contaminante

Proceso	Acabados					
Parámetro	DQO (mg/l)	pH	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)
Concentración de vertido	300-2.500 (*)	6 - 9	0,5 - 2	0,5 - 3	0,5 - 2	0,5 - 2
Reducción de la carga contaminante por aplicación de MTD:						
Recuperación de los agentes de encolado (Ultrafiltración)	40% - 70 %					
Descrudado enzimático	20 % - 55 % (**)					
Uso de reactivos alternativos	no cuantificado					
Uso de colas alternativas	no cuantificado					
Reducción del uso de colas	20 % - 25 %					
Descrudado enzimático+blanqueado	40%					
Recuperación del álcali del mercerizado		no cuantificado				

pH: acidez /alcalinidad DQO: demanda química de oxígeno
no cuantificado: no se dispone de datos precisos relativos a la cuantificación de la reducción de la carga contaminante
(*) ocasionalmente se pueden observar valores mayores en ciertos casos de acabado de algodón y lana
(**) según datos facilitados por la Universitat Politècnica de Catalunya

Tintura de fibras e hilados							
Proceso	pH	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	Color (mg Pt-Co-l)	M.I. (equitox/m ³)	Conductividad (μS/cm)
Parámetro	10-12	500-1.200	150-400	50-100	300-1.000	3-10	3.000-6.000
Reducción de la carga contaminante por aplicación de MTD:							
Uso de reactivos y carriers alternativos		no cuantificado					
Eliminación de los carriers		no cuantificado				no cuantificado	
Uso de dispersantes alternativos		no cuantificado					
Uso de colorantes azoicos dispersos		no cuantificado					
Uso de reactivos polifuncionales					no cuantificado		
Reducción del uso de sales							no cuantificado

pH: acidez/alcalinidad DQO: demanda química de oxígeno DBO₅: demanda biológica de oxígeno MES: materias en suspensión Color: índice de coloración del vertido M.I.: materias inhibidoras

Tintura y acabados de tejidos en lana y algodón										
Proceso	pH	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	Color (mg Pt-Co-l)	M.I. (equitox/m ³)	Conductividad (μS/cm)	Cr (mg/l)	Sulfuro (mg/l)	
Parámetro	6-12	300-2.800	200-900	50-150	500-3.000	4-25	500-9.600		no cuantificado	
Reducción de la carga contaminante por aplicación de MTD:										
Uso de tintes con bajo contenido de sulfuro										no cuantif
Lavados sin detergente		Hasta un 50 %								
Proceso Econtrol	no cuantif									
Cromatado ultra bajo en cromo										no cuantif
Tintura sin cromo										100 %
Uso de colorantes premetalizados										100 %
Uso de liposomas como auxiliares		no cuantificado					no cuantif.			
Eliminación uso de detergentes en lavado		Hasta un 50 %								

pH: acidez/alcalinidad DQO: demanda química de oxígeno DBO₅: demanda biológica de oxígeno MES: materias en suspensión Color: índice de coloración del vertido M.I.: materias inhibidoras no cuantificado: no se dispone de datos precisos relativos a la cuantificación de la reducción de la carga contaminante

Estampación y acabados									
Proceso									
Parámetro	pH	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	Color (mg Pt-Co/l)	M.I. (equitox/m ³)	Conductividad (μS/cm)	AOX (ppm)	
Concentración de vertido	6-9	350-2.300	80-750	50-150	no cuantificado	2-20	1.000-8.000	90 – 100	
Reducción de la carga contaminante por aplicación de MTD:									
Blanqueo con reactivos alternativos								Hasta un 100 %	
Sustitución de la urea con reactivos alternativos		no cuantificado							
Uso de pigmentos alternativos									
Recuperación de la pasta de estampación		Hasta un 50 %							
Reciclaje de la pasta de estampación		Hasta un 50 %							
Aprestos exentos o bajos en formaldehídos						Hasta un 100 %			

pH: acidez/alcalinidad DQO: demanda química de oxígeno DBO₅: demanda biológica de oxígeno MES: materias en suspensión Color: índice de coloración del vertido M.I.: materias inhibitorias AOX: componentes orgánicos halogenados no cuantificado: no se dispone de datos precisos relativos a la cuantificación de la reducción de la carga contaminante

Tratamiento de aguas residuales		
Proceso	Para el tratamiento de efluentes de	Reducción de la carga orgánica
Fangos activados de carga reducida	Varios procesos	80 % (comp. biodegradables)
Tratamiento físico, químico y biológico	Varios procesos	90 % (comp. biodegradables) + com. No biodegradables
Tratamiento con técnicas de membrana	Tintura, desencolado, desgrasado,...	hasta 100 %
Tratamiento anaeróbico de las pastas de estampación y baños de tintura	Tintura y estampación	50 % - 90 %
Tratamiento mediante oxidación química	Varios procesos	70 % - 85 %
Tratamiento mediante floculación-precipitación	Varios procesos	40 % - 50 %

5. SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL

En el presente capítulo se exponen los principales sistemas de emisión y control de las corrientes residuales generadas por el sector de la industria textil, principalmente por lo que respecta a los vertidos de aguas residuales y a las emisiones a la atmósfera.

5.1 Vertidos al agua

5.1.1 Introducción

La industria textil lleva a cabo diversos procesos que pueden generar importantes impactos sobre el medio hídrico. Estos procesos son, entre otros, la tintura, la estampación, los acabados o el blanqueo.

La relación de contaminantes que pueden potencialmente afectar el medio hídrico debido a los procesos anteriormente citados, tal y como se ha desarrollado en el capítulo 3 del presente documento, es diversa.

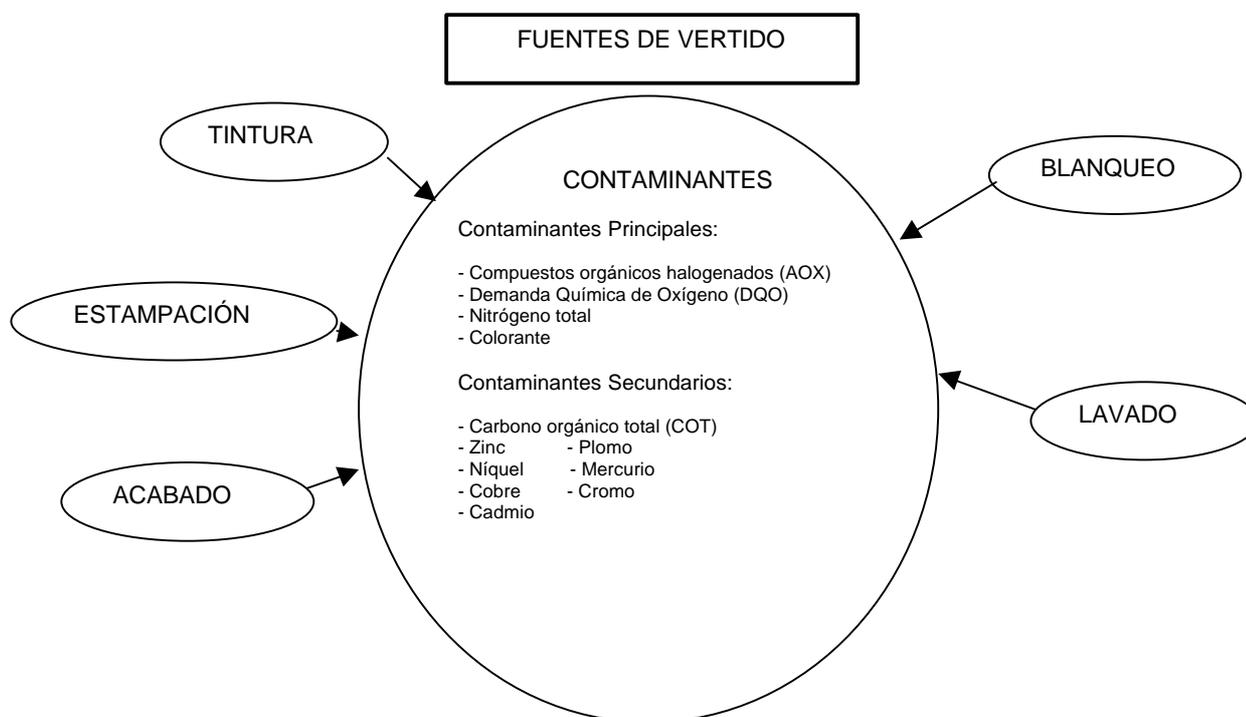


Figura 5.1. Principales procesos y contaminantes de vertidos del sector

El presente apartado hace referencia a los aspectos básicos en cuanto a la medición y el control de los vertidos generados por la industria textil, tanto en aguas continentales como en marinas. Asimismo, este apartado también considerará los diferentes aspectos incluidos en el Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER) para el sector textil.

5.1.2 Legislación

La legislación española en materia de vertidos, dependiendo de cual sea el destino del vertido, desarrolla diferentes textos legales aplicables. Así, existe una normativa concreta para los vertidos directos e indirectos a cauce público (ríos, lagos y lagunas...), otra normativa específica

para aquellos vertidos cuyo destino es el mar, así como diversas normativas, habitualmente de ámbito local, que regulan el vertido a sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a estas últimas, a modo de ejemplo, nos ampararemos en diversas ordenanzas de municipios en los que el sector textil sea relevante.

5.1.2.1 Vertidos a aguas continentales

Tradicionalmente la normativa estatal en materia de vertidos a cauce ha estado compuesta por un texto legal general, la Ley 29/1985 de aguas, y su reglamento de desarrollo, el Real Decreto 849/1986, Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH). La ley de aguas ha sido derogada por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, texto refundido de aguas mientras que el RDPH ha sido modificado en algunos de sus artículos y Anexos por el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo. Dentro de esta normativa, junto con las actividades que pueden producir un mayor impacto en el medio acuático, se establece los diferentes contaminantes que las industrias deben de tener en cuenta, todo ello con el objetivo de controlar el posible impacto sobre el medio hídrico.

Las empresas deberán disponer de una autorización que les permita realizar el vertido de aguas residuales al medio correspondiente (medio hídrico continental, marino o sistema de tratamiento de aguas). Dicho permiso, denominado "Autorización de vertido" deberá integrarse dentro de la Autorización Ambiental Integrada, según viene establecido en la Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. La autorización de vertido la expiden los organismos de cuenca en el caso de vertidos directos a aguas superficiales y subterráneas y vertidos indirectos a aguas subterráneas. Cuando se trate de vertidos indirectos a aguas superficiales la autorización corresponderá al órgano autonómico o local correspondiente.

Posteriormente a la Ley 29/85 se fueron dictando, al amparo de la normativa comunitaria, una serie de normas que regulan la emisión de ciertos contaminantes, como por ejemplo, la Orden de 12 de noviembre de 1987, sobre emisiones, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos, entre otros, mercurio, cadmio y tetracloruro de carbono, o la Orden de 13 de marzo de 1989 que regula ciertas sustancias como el cloroformo y hexaclorobutadieno.

Las autorizaciones de vertido deben establecer límites de emisión de sustancias peligrosas que están incluidas en RDPH (relación I del anexo III) y en el RD 995/2000 por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes. Además tendrán en cuenta limitaciones de acuerdo a normas de calidad ambiental y objetivos de calidad previstos en los planes hidrológicos de cuenca para las sustancias peligrosas incluidas en la relación II del anexo III del RDPH, en la citada Orden 12 de noviembre de 1987 y posteriores modificaciones y en el Anexo X de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE.

Otra de las obligaciones de toda actividad industrial generadora de vertido a dominio público hidráulico es el pago de una tasa destinada al control, protección y mejora del medio receptor de cada cuenca hidrográfica que se denomina canon de control de vertidos y cuyo importe, calculado según los parámetros indicados en el RD 606/2003, deberá constar en la autorización de vertido. Dicho canon lo recaudan los organismos de cuenca en las cuencas intercomunitarias y en las intracomunitarias sin competencias transferidas, y la administración local o autonómica competente en el resto de los casos.

Considerando la tipología de vertidos en el sector textil, los principales contaminantes a considerar son los siguientes:

- Compuestos organohalogenados (AOX)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Carbono Orgánico Total (COT)
- Metales pesados.

En referencia a dichos contaminantes, la tabla siguiente destinada en principio al cálculo del canon de control de vertido se ha estado utilizando hasta ahora para el establecimiento de limitaciones de vertido en la correspondiente autorización de vertido a cauce público.

Normativa	Parámetros	Límites (mg/l)		
		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3
Real Decreto 849/1986 (RDPH)	pH	Comprendido entre 5,5 y 9,5		
	Sólidos en suspensión (mg/l)	300	150	80
	DBO ₅ (mg/l)	300	60	40
	DQO (mg/l)	500	200	160
	Color	Inapreciable en disolución		
		1/40	1/30	1/20
	Cromo III (mg/l)	4	3	2
	Cromo VI (mg/l)	0,5	0,2	0,2
	Níquel (mg/l)	10	3	3
	Plomo (mg/l)	0,1	0,03	0,03
	Cobre (mg/l)	10	0,5	0,2
	Zinc (mg/l)	20	10	3
	Nitrógeno Total (mg/l)	20	12	10
	AOX ⁽¹⁾ (mg/l)	0,5- 2		
	Orden de 12 de noviembre de 1987	Mercurio ⁽²⁾ (mg/l)	Media diaria	Media mensual
0,2			0,05	
Cadmio (mg/l)		(3)		

(1) Parámetro no recogido en el RD 849/1986, aunque a menudo se establece con valores entre 0,5 y 2 mg/l.

(2) Normas de emisión de los vertidos de mercurio en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales de sectores diferentes del de electrólisis de cloruros alcalinos que utilizan cátodos de mercurio.

(3) Aunque los vertidos de cadmio están regulados en la orden del 12 de noviembre de 1987, se suelen establecer valores límite en concepto de "otros metales pesados" en los cuales se suponen incluidos.

Tabla 5.1. Tabla de los parámetros característicos que se deben considerar, como mínimo en la estima del tratamiento del vertido en el sector textil.

5.1.2.2 Vertidos a aguas marinas

La solicitud de autorización de vertido de aguas residuales al mar así como el canon de vertido correspondiente se hace a instancias de la Ley 22/88 de Costas en la Administración Autónoma Competente.

En cuanto a las restricciones de acuerdo a unos objetivos de calidad sobre vertidos de sustancias peligrosas al medio marino, se aplica el Real Decreto 258/1989, de 10 de marzo, sobre vertidos de tierra a mar, y una norma de desarrollo, la Orden de 31 de octubre de 1989, por la que se establecen normas de emisión, objetivos de calidad, métodos de medida de referencia y procedimientos de control relativos a determinadas sustancias peligrosas contenidas en los vertidos desde tierra al mar. Esta última disposición legislativa se ha visto ampliada por la orden 28 de Octubre de 1992 en el número de sustancias.

Los límites de emisión establecidos por la Orden de 31 de Octubre de 1989 para estas sustancias peligrosas coinciden con los valores y alcances que figuran en la Orden 12 de noviembre de 1987 para aguas continentales y lo mismo sucede entre modificaciones o ampliaciones de estas órdenes. Para el resto de los contaminantes se suelen consultar los valores ya indicados en la tabla 5.1 del RDPH.

5.1.2.3 Vertido a sistemas de tratamiento de aguas residuales

En el caso de que los vertidos no se realicen directamente a cauce público, los parámetros dependen de la capacidad de depuración de la estación depuradora y del propietario del colector o del organismo que gestione el sistema de tratamiento. En este caso, los vertidos tienen que ajustarse al reglamento u ordenanza que establezca el organismo responsable de la gestión del sistema del colector o depuradora, que es el regulador de los vertidos. Normalmente,

este organismo suele ser un ayuntamiento, una mancomunidad de municipios, un consorcio, un organismo de la comunidad autónoma o de la cuenca hidrográfica, etc. Las aguas tratadas por esta estación depuradora, si van a cauce público, se les aplican los correspondientes límites de vertido.

Debido a esta diversificación de normativas no existe una tabla única que establezca los límites de vertido al alcantarillado para cada sustancia y que, posteriormente, es tratada por la EDAR. A modo de ejemplo, se indican a continuación los límites de emisión establecidos en tres organismos municipales o supramunicipales de tres Comunidades Autónomas diferentes en los cuales el sector textil es relevante para comprobar en qué niveles se mueven los límites aplicables a cada parámetro:

PARÁMETROS	SABADELL	ALCOI	TALAVERA DE LA REINA
pH	6 - 10	5,5 - 9	6-9,5
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	5.000	3.000	---
Sólidos en suspensión mg/l	750	500	600
DBO ₅ mg/l	750	500	500
DQO mg/l	1.500	1.000	1.500
Aceites y grasas mg/l	250	100	100
Nitrógeno mg/l	---	25	---
Sulfuros mg/l	1	2	2
Sulfatos mg/l	1.500	1.000	1.500
Arsénico mg/l	1	1	1
Cadmio mg/l	0,5	0,5	0,5
Cromo total mg/l	5	3	---
Cromo VI mg/l	0,5	0,5	0,5
Cobre mg/l	5	1	5
Hierro mg/l	20	5	50
Níquel mg/l	10	5	5
Plomo mg/l	1	1	1
Zinc mg/l	10	5	5
Mercurio mg/l	0,1	0,1	0,05
Toxicidad Equitox/l	50	15	50
AOX mg/l	2	---	---

Tabla 5.2. Límites de vertido establecidos en tres ordenanzas municipales diferentes

En la presente tabla se puede observar que los valores establecidos son menos estrictos que los establecidos en el RDPH (debido a que los vertidos desembocan en un sistema de tratamiento), existiendo algunas variaciones, que dependen fundamentalmente, de las características del municipio así como de su industria.

5.1.3 Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER)

De acuerdo con el artículo 1 de la Decisión 2000/479/CE de la Comisión Europea relativa al Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER), los Estados miembros deben notificar a la Comisión las emisiones tanto a la atmósfera como al medio hídrico, producidas en las actividades que figuran en el Anexo I de la Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). Los datos facilitados deben incluir, también, un código que indique el método de determinación utilizado por los industriales para obtener los datos de los contaminantes.

Esta directiva ha sido transpuesta al marco jurídico español por la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC).

En este sentido, sólo las empresas que se encuentren en el Anexo I de la Ley 16/2002 tienen la obligación de informar sobre sus contaminantes a los organismos competentes de cada uno de los Estados miembros; en el caso de España, a las comunidades autónomas.

Dentro del sector textil, se encuentran afectadas, exclusivamente, las instalaciones para tratamiento previo (operaciones de lavado, blanqueo, mercerización) o para el tinte de fibras o productos textiles cuando la capacidad de tratamiento supere las 10 toneladas diarias.

Las actividades obligadas deben entregar la documentación en su respectiva comunidad autónoma, la cual entregará la información al Ministerio de Medio Ambiente.

El contenido del informe que entrega la empresa a la comunidad autónoma es el siguiente:

- Datos relativos al establecimiento: actividad, dirección, localización geográfica, volumen de producción (optativo), número de instalaciones IPPC, número de trabajadores, certificados ISO y personas de contacto.
- Datos relativos a la actividad: código de IPPC, código y proceso de NOSE-P.
- Datos relativos a emisiones al medio hídrico.
- Datos de cada contaminante en lo referente a vertidos: cantidad en kg/año, tipo de vertido (directo o indirecto), medio receptor (litoral, cuenca, depuradora) y método de obtención de datos: calculado (C), medido (M), estimado (E). Dichos sistemas de obtención de datos son elegidos por cada industrial, estableciendo cuáles son los contaminantes que emite y cuál ha sido el método utilizado para realizar la medición.

El código y procesos NOSE-P constituyen los instrumentos de clasificación de las actividades considerado por el EPER, basándose en la clasificación de actividades ya establecida en la IPPC, y asignando un código de cinco dígitos y una subclasificación, mediante la que se identifican las actividades obligadas a informar sobre los contaminantes. Concretamente en el sector textil tiene los siguientes datos:

Ley 16/2002	ANEXO I : Categorías de actividades e instalaciones	NOSE-P	PROCESOS NOSE-P
7.1	Instalaciones para el tratamiento previo (operaciones de lavado, blanqueo, mercerización) o para el tinte de fibras o productos textiles cuando la capacidad de tratamiento supere las 10 toneladas diarias.	105.04	Manufactura de textiles y productos textiles

Tabla 5.3. Clasificación de la actividad textil en el EPER

En referencia a los contaminantes emitidos al medio hídrico que establece el EPER para el sector textil, se establecen los siguientes:

Parámetros	Límite kg/año
Total Nitrógeno	50.000
Total Fósforo	5.000
Cd y compuestos	5
Cr y compuestos	50
Cu y compuestos	50
Hg y compuestos	1
Ni y compuestos	20
Pb y compuestos	20
Zn y compuestos	100
Compuestos orgánicos halogenados (AOX)	1.000
Benceno, Tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX	200
Difenileter bromado	1
Fenoles	20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	5
Carbono Orgánico Total (COT)	50.000
Cloruros	2.000.000

Tabla 5.4. Contaminantes de vertido del sector textil y los límites establecidos en el EPER

- Calculado (C): código que indica que los datos se basan en cálculos realizados utilizando métodos de estimación y factores de emisión aceptados en el ámbito nacional o internacional y representativos de los sectores industriales.
- Medido (M): código que indica que los datos se basan en mediciones realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados, aunque sea necesario realizar cálculos para convertir estos resultados en datos de emisiones anuales.
- Estimado (E): código que indica que los datos se basan en estimaciones no normalizadas, fundamentadas en hipótesis óptimas o en las previsiones efectuadas por expertos.

Asimismo, existe un documento, “Documento de Orientación para la Realización del EPER”, publicado por la Comisión Europea, en donde se indica, aunque sin entrar en detalle y sin dar recomendaciones específicas, las posibles metodologías estándar que utilizar.

5.1.4 Aspectos básicos de la medición y control de los vertidos en las industrias del sector textil

5.1.4.1 Identificación de parámetros a tener en cuenta para una correcta toma de muestras

Los sistemas de monitorización y control de los vertidos son un conjunto de procedimientos y protocolos necesarios para asegurar la adecuación y fiabilidad del resultado.

Por ello se considera fundamental definir todas las condiciones en que se tiene que realizar una toma de muestras, su traslado, mantenimiento y posterior análisis, necesarios para asegurar la fiabilidad del resultado. Para ello, se ha tenido como documento de referencia el BREF de monitorización, el cual, si bien es cierto que no es específico del sector textil, determina los pasos concretos que hay que seguir en la realización de un control de los vertidos.

En la siguiente tabla se muestran los aspectos más destacados:

ASPECTO A CONSIDERAR	OBSERVACIONES
Representatividad de la muestra	<p>Para la obtención de unos resultados fiables, representativos y comparables, es necesario tener en cuenta tres momentos principales del procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La toma de muestras. - El almacenaje y traslado de la toma. - El análisis en el laboratorio.
Condiciones relevantes de la monitorización de los vertidos	<p>La realización de la toma de muestras y su consiguiente análisis es un procedimiento que debe hacerse minuciosamente para obtener unos datos fiables. Para ello, suele ser recomendable seguir siete pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medición del caudal. Conocer el caudal de vertido es importante, ya que de él depende la obtención de unos resultados u otros. Para conocer las concentraciones de vertido lo correcto es realizar una medición del caudal; sin embargo, en el caso de que el caudal sea homogéneo, suele tenderse a realizar un cálculo aproximado. Por otro lado, la variable tiempo puede ser muy influyente en los resultados, por lo que el sistema ideal para obtener un resultado fiable sería introducirlo dentro de un programa de monitorización. - Toma de muestras. Se puede dividir en dos fases: establecer el plan de tomas de muestras y realizar la toma de muestras. Esta última puede influir en los resultados. Por eso, para que exista fiabilidad en la toma, es necesario seguir procesos estandarizados y procesos concretos de recogida de tomas. - Es necesario tener en cuenta el tiempo y el espacio de la recogida. Hay que coger la toma durante un periodo que se considere representativo, por ejemplo, un día de trabajo. También hay que tener en cuenta el lugar y la homogeneidad del vertido que muestrear. Así, si el vertido es muy homogéneo, valdrá con un punto, pero si el vertido es muy heterogéneo se deberá realizar la toma en varios puntos diferentes. - Se debe mantener la toma lo más estable posible evitando que se produzcan cambios de composición. Existen parámetros como el pH o el oxígeno que son muy delicados y se debe intentar no adulterarlos. <p>Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La toma se debe realizar en un sitio en el que se tenga la certeza que se está muestreando exclusivamente vertido del foco que interesa; para ello las empresas suelen disponer de un punto de registro, el cual debe tener unas condiciones de acceso que faciliten la toma. - Es importante tener en cuenta no sólo la duración de la toma, sino también la frecuencia con que se realiza, pues esta variará dependiendo de la peligrosidad y riesgo que implique el vertido, y de las características del proceso generador del mismo. - Los diferentes métodos de toma de muestra y los equipos. - El tipo de muestreo (manual o automática). - Muestra individual o muestra compuesta. - Análisis de un parámetro o varios. - Si el personal está cualificado o no. <p>Almacenaje y transporte de la muestra. Se debe conservar la muestra de forma adecuada, cumpliendo como norma general una serie de requisitos como oscuridad, temperatura constante de unos 4 °C y no demorar demasiado la entrega al laboratorio.</p> <p>Tratamiento de la muestra. Algunas muestras se deben tratar con anterioridad al análisis del laboratorio. Existen diversos tipos de tratamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Concentración de la toma cuando el nivel de componentes sea demasiado bajo para ser detectado por el método de análisis. - Eliminación de impurezas de la toma que puedan distorsionar el resultado. - Homogeneización de la muestra. <p>Análisis de la muestra. Existe una gran variedad de métodos de análisis de un mismo parámetro, y su elección depende de varios factores. Suele ser interesante que exista cierta comunicación y relación entre el equipo que ha realizado la toma de muestras y el laboratorio que la analiza, para que se tenga claro el objetivo y los métodos más adecuados de análisis.</p> <p>Procesado de datos. Tanto en el sistema automático de toma de muestras como en el manual se obtienen una serie de datos sobre el vertido que deben ser procesados. Los datos se pueden agrupar haciendo medias, obteniendo picos, máximos y mínimos, dependiendo del objetivo de la monitorización.</p>

Tabla 5.5. Parámetros críticos en el control de vertidos en el sector textil

5.1.4.2 Tipología de sistemas de medición

La extracción de muestras se puede realizar de diferentes modos. Así, se pueden obtener diferentes tipos de muestras:

Muestra simple o puntual

- La muestra es extraída en un punto y en un instante determinado. Por ello, representa la composición del vertido para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Dependiendo de las características particulares de la actividad y del medio en el que se realice el muestreo (caudal constante y homogéneo o variable y heterogéneo), su representatividad será mayor o menor.

Muestra compuesta

- Este tipo de muestra tiene dos variables, dependiendo del lugar en donde se recoja la muestra:
- Muestra formada por la combinación de diferentes muestras sencillas o puntuales tomadas en un mismo punto a intervalos de tiempo precisados. Las diferentes muestras sencillas son vertidas en una botella de suficiente capacidad (2 o 3 litros).
- La duración de la toma suele ser de 24 h aunque esta duración puede variar y reducirse.
- Se recomienda que determinados parámetros no sean considerados en muestras compuestas, debido a su rápida variación: pH, temperatura, gases disueltos, etc.

Muestra integrada

- Muestra formada por la combinación de diferentes submuestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos.
- Este sistema es utilizado en aquellos medios en los que se dispone de varios puntos de vertido o bien se pueden producir cambios en las características de forma rápida e imprevisible. Se realiza la toma en diversos puntos del medio para obtener un resultado promedio de la carga contaminante vertida.

5.1.5 Tipología de los sistemas de medición y control de los vertidos emitidos por la industria textil

Actualmente, la normativa aplicable no establece métodos de referencia para la caracterización de vertidos y la verificación del cumplimiento de los límites aplicables dentro del sector textil, aunque sí se exigen requisitos técnicos para la acreditación de los laboratorios que realizan los análisis de las tomas de muestras.

No obstante, la selección de los métodos para la determinación de los compuestos emitidos puede basarse en los criterios establecidos por diferentes estándares aplicables a nivel nacional e internacional.

Para evitar que cada Estado Miembro escoja criterios diferentes y estándares establecidos en las diferentes normas, el orden de prioridades en las normativas es el siguiente:

- Métodos estándar requeridos en las Directivas de la Unión Europea.
- Normas UNE.
- Normas CEN.
- Normas ISO.
- Otras normas internacionales.

- Métodos alternativos, los cuales necesitan la autorización previa del organismo competente.

En la siguiente tabla se muestran los métodos más utilizados en la caracterización de aguas residuales procedentes del sector industrial, y en concreto del subsector textil. Como se observa en la tabla anterior, los métodos basados en las normas UNE-EN son los más utilizados.

EMISIÓN	Normas UNE-EN-ISO
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	UNE 77004:2002 Método de dicromato potásico.
Compuestos orgánicos halogenados (AOX)	UNE-EN 1485:1997 Adsorción en carbón activo, combustión y detección coulombimétrica.
Carbono Orgánico Total (COT)	UNE-EN 1484:1998 Directrices para la determinación del Carbono Orgánico Total (COT) y el Carbono Orgánico Disuelto (COD).
Nitrógeno Total (N Total)	UNE-EN 25663:1994 Determinación de nitrógeno kjeldahl. Método de mineralización con selenio.
Fósforo Total (P Total)	UNE-EN 1189:97 Determinación del fósforo total por espectrometría UV-VIS .
Materia en suspensión (MES)	UNE-EN 872:1996 Sistema de filtración por discos filtrantes de fibra de vidrio.
pH	ASTM D 1293:1999 (Método B).
Metales pesados (Cu, Ni, Pb, Zn...)	UNE-EN 77056:1983 (UNE-EN 77056:17997 ERRATUM): Determinación de 18 metales por espectrofotometría de absorción atómica. UNE-EN ISO 11885:1998 Determinación de 33 elementos por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente.
Compuestos de Mercurio (Hg)	UNE-EN 13506: 2002 Determinación del mercurio por espectrometría de fluorescencia atómica.
Compuestos de Cadmio (Cd)	UNE-EN ISO 5961:1995 Determinación de cadmio por espectrometría de absorción atómica.
Compuestos de Cromo (Cr)	UNE-EN 1233:1997 Determinación de cromo por métodos de espectrometría de absorción atómica. ASTM D 1687:1992 (Método A): Determinación del cromo por espectrofotometría.
Cromo ⁺⁶	UNE-EN 77061:1989 Métodos de análisis de agua en vertidos industriales. Determinación de cromo. Método de la difenilcarbocida.

Tabla 5.6. Resumen de la normativa técnica recomendada sobre las mediciones de los diferentes contaminantes del sector textil (Fuente: AENOR)

5.2 Emisiones a la atmósfera

5.2.1 Introducción

La industria textil emite a la atmósfera una serie de contaminantes que proceden en su mayoría de fuentes puntuales (figura 5.2.).

Las emisiones puntuales se pueden generar tanto en determinadas fases del proceso productivo (principalmente procesos de secado) como en fases auxiliares (instalaciones de combustión). Los principales compuestos contaminantes generados son los siguientes:

- Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).
- Partículas sólidas (Partículas en suspensión, PS).
- Monóxido de carbono (CO).
- Óxidos de nitrógeno (NOx).
- Dióxido de azufre (SO₂).

Las emisiones difusas, por el contrario, no se asocian a procesos de producción, sino a operaciones de mantenimiento (limpieza de telares con disolventes, limpieza de máquinas, etc.) o de manipulación de mercancías. Estas operaciones emiten a la atmósfera básicamente compuestos orgánicos volátiles y partículas sólidas.

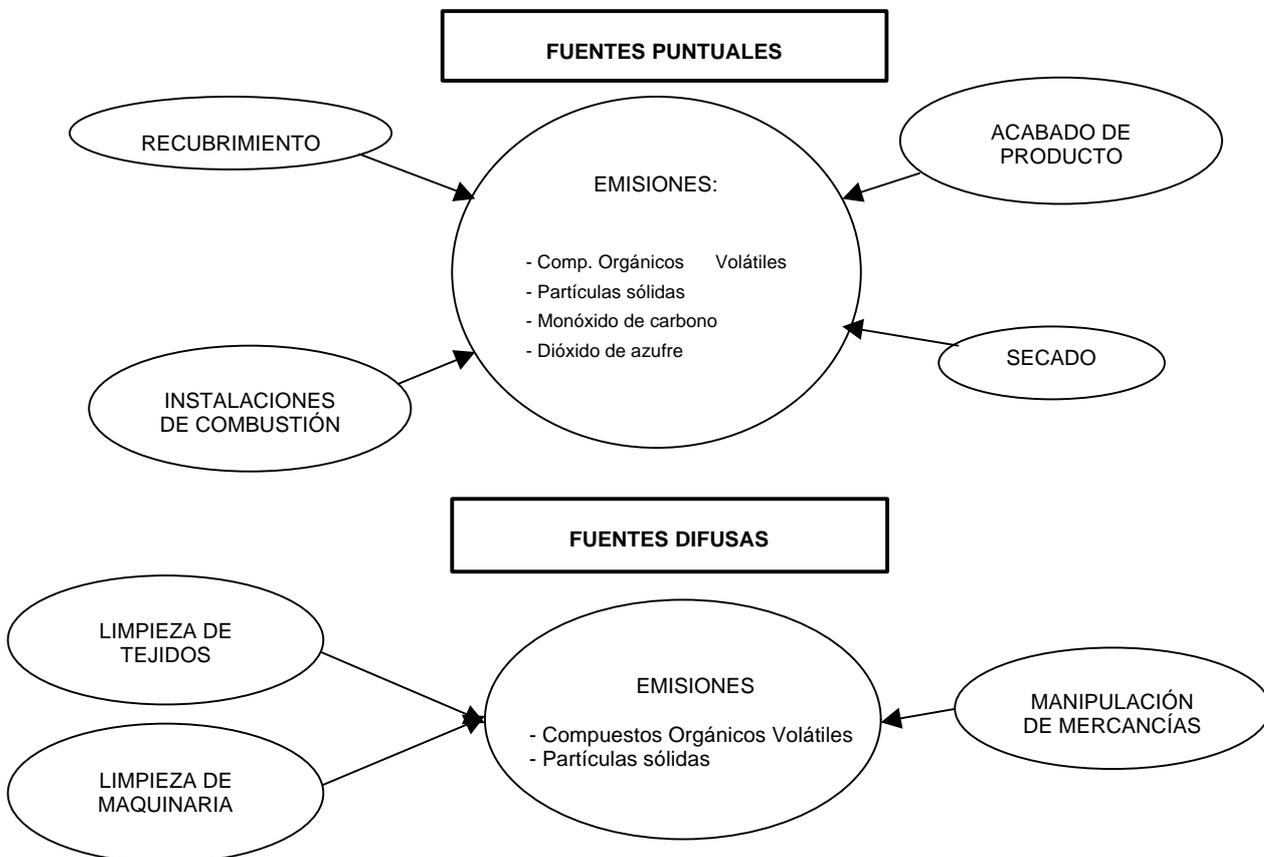


Figura 5.2. Contaminantes atmosféricos ligados a la industria textil

El presente apartado hace referencia a los aspectos básicos sobre la medición y el control de las emisiones a la atmósfera en la industria textil. Asimismo, también incluye los compuestos incluidos en el Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER) para el sector textil.

5.2.2 Legislación básica

En España no existe una legislación específica reguladora de las emisiones a la atmósfera generadas por el sector textil. La normativa aplicable es genérica para los contaminantes atmosféricos principales establecidos en el Decreto 833/75, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico. De acuerdo con este decreto, el sector textil está clasificado dentro del Grupo C, atendiendo al hecho de que el impacto atmosférico que puede producir este sector no es importante.

Con la publicación del Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, con lo que se traspone la Directiva 1999/13, de 11 de marzo, se establecen niveles límite de emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles para ciertas actividades, entre las que se encuentra el sector textil. Dicha normativa, aun cuando ya se encuentra vigente, establece plazos para la adecuación de los límites establecidos en la norma; así, como plazo general establece el 31 de octubre de 2007. Existe alguna excepción en la aplicación de dicho plazo, como es el caso de las instalaciones que funcionen con equipos de reducción y cumplan los valores límite de

emisión de 150 mg/Nm³, en cuyo caso los valores límite de gases residuales establecidos en el Anexo II no tendrá que cumplirse hasta abril del 2013.

Finalmente, y aunque no se trata de una norma puramente medioambiental sino más cercana al ámbito de los riesgos laborales, merece ser mencionado el Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. El objetivo de esta norma es la protección de los trabajadores de los posibles peligros derivados de la manipulación de productos químicos o peligrosos. En dicha norma se hace referencia a las responsabilidades del empresario, las medidas que se deben adoptar para evitar accidentes y las sanciones por los posibles accidentes de los trabajadores.

Los límites de emisiones a la atmósfera para la industria textil están expresados generalmente como medias diarias, y son aplicables en condiciones estables de operación de las instalaciones.

NORMATIVA	EMISIÓN			LÍMITES ESTABLECIDOS				
				(mg/Nm ³)	Part	SO ₂ (ppm)	Op	CO (ppm)
Decreto 833/75, de 6 de febrero	Instalaciones de combustión industrial	Instalaciones existentes	Carbón	P < 500 + b/b	500	2.400/6.000	2	1.445
				P > 500 th/h	400	2.400/ 6.000	2	1.445
			Fuel-oil	BIA	--	1.700	2	1.445
				Pesado 1	--	4.200	4	1.445
				Pesado 2	--	6.800	5	1.445
		Instalaciones nuevas	Carbón	P < 500 + b/b	350	2.400/6.000	2	1.445
				P > 500 th/h	250	2.400/ 6.000	2	1.445
			Fuel-oil	BIA	--	1.700	2	1.445
				Pesado 1	--	2.500	4	1.445
				Pesado 2	--	5.000	5	1.445
Previsión 1980 ⁽¹⁾	Carbón	P < 500 + b/b	250	2.400/6.000	2	1.445		
		P > 500 th/h	150	2.400/ 6.000	2	1.445		
	Fuel-oil	BIA	--	850	2	1.445		
		Pesado 1	--	1.700	4	1.445		
		Pesado 2	--	3.400	5	1.445		
Decreto 833/75, de 6 de febrero	Actividades industriales diversas no especificadas	Parámetros	Unidad	Nivel de emisión				
		Partículas sólidas	mg/m ³	150				
		SO ₂	mg/m ³	4.300				
		CO	ppm	500				
		NO _x	ppm	300				
		F Total	mg/m ³	200				
		Cl	mg/m ³	230				
		HCl	mg/m ³	460				
		H ₂ S	mg/m ³	10				
		Opacidad	Bacharach	1				
Real Decreto 117/2003, de 31 de enero	Actividad	Umbral (Tn/año)	Lim mg/m ³	Valor difuso % disolvente	Disposiciones especiales			
	recubrimientos textiles, tejidos (> 5 Tn de disolvente/año)	5-15	100 (1) (4)	25 (4)				
impresión serigráfica rotativa sobre textil (>30 Tn de disolvente/año)	> 30	100	20	(1) El valor límite de emisión se aplica a las actividades de recubrimiento y secado llevadas a cabo en condiciones confinadas. (2) El primer valor de emisión se aplica a las actividades de secado, y el segundo, a las de recubrimiento. (3) En las instalaciones para recubrimiento de textil que utilicen disolventes nitrogenados con técnicas que permitan la reutilización de los disolventes recuperados, el límite de emisión aplicado a las actividades de recubrimiento y secado en conjunto será de 150. (4) Las actividades de recubrimiento que no se puedan aplicar en condiciones confinadas quedan exentas de dichos valores.				

(1) El Gobierno estableció estos valores previendo los límites que debería haber en 1980; sin embargo, no se ha dictado normativa alguna que regule nuevos límites, por lo que siguen estando vigentes los establecidos para instalaciones nuevas y existentes.

Tabla 5.7. Resumen de los límites de emisión a la atmósfera existentes para la industria textil en España

5.2.3 Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER)

Al igual que se ha establecido para el apartado de vertidos, de acuerdo con el artículo 1 de la Decisión 2000/479/CE de la Comisión Europea relativa al Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER), los Estados miembros deben notificar a la Comisión las emisiones a la atmósfera, producidas en las actividades que figuran en el Anexo I de la Ley 16/2002.

En el caso del sector textil, al igual que para los vertidos, están obligados a notificar los contaminantes atmosféricos que emiten las instalaciones para tratamiento previo (operaciones de lavado, blanqueo, mercerización) o para el tinte de fibras o productos textiles cuando la capacidad de tratamiento supere las 10 toneladas diarias.

En referencia a los contaminantes atmosféricos, las empresas deben informar sobre lo siguiente:

- Datos relativos a emisiones: sustancias al aire.⁽¹⁾
- Datos de cada contaminante en lo referente a emisiones: cantidad en kg/año, y método de obtención de datos: calculado (C), medido (M), estimado (E).

(1) En referencia a los contaminantes atmosféricos que establece el EPER para el sector textil, se establecen los siguientes:

Contaminantes al aire	Límite kg/año
CO ₂	100.000.000
NH ₃	10.000
NMVOV (COVS)	100.000
PM10(*)	50.000
NO _x	100.000
SO _x	150.000

(*) parámetro recogido en el EPER para la valoración de las partículas en suspensión

Tabla 5.8. Contaminantes atmosféricos del sector textil y los límites establecidos en el EPER

5.2.4 Aspectos básicos de la medición y control de las emisiones a la atmósfera de la industria textil

5.2.4.1 Identificación de los parámetros críticos

El control de emisiones a la atmósfera debe contemplar aquellos aspectos que pueden influir sobre la medición de contaminantes y sus resultados.

En la siguiente tabla se describen los aspectos considerados más importantes para la realización de la toma de muestras, los cuales se han obtenido a partir de diversas normas técnicas, como el BREF de Monitorización, así como de la Orden de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la Contaminación Atmosférica Industrial.

PARÁMETRO	OBSERVACIONES
Representatividad de la muestra	Los compuestos emitidos por chimenea, o cualquier otro tipo de emisión vehiculada, normalmente no son evacuados homogéneamente, ya que sus condiciones de emisión dependen de varios factores, como el tiro de la chimenea, el rozamiento con las paredes, etc. Por ello, es importante que la toma de muestras se realice en un punto que reúna unas condiciones estables y uniformes.
Acondicionamiento de la chimenea o cualquier otro tipo de emisión vehiculada	Para conseguir homogeneidad en la toma de muestras, es importante cumplir con las siguientes condiciones: Situación del lugar de toma de muestras. Las distancias mínimas de los orificios de toma de muestra respecto a las perturbaciones del flujo de gases deben cumplir: situación óptima: 8D, 2D; situación mínima: 3D, 2D, siendo D el diámetro de la chimenea. Orificios de toma de muestra. Número: El número de orificios debe variar en función de la forma de la emisión vehiculada y de su diámetro. Para formas circulares de diámetro menor a 35 cm se debe disponer 1 orificio, para un diámetro comprendido entre 35 cm y 2 m se deben disponer 2 orificios (situados perpendicularmente) y para formas circulares con diámetro mayor o igual a 2 m se deben disponer 4 orificios (opuestos diametralmente). En el caso de formas rectangulares y horizontales, el número de orificios debe ser el establecido por la norma UNE 77223: 1997. - Dimensiones: La dimensión mínima de los orificios para la toma de muestras debe ser de 100 mm de diámetro. Plataforma. Se debe disponer en el punto de toma de muestras una plataforma de fácil acceso, que permita trabajar con facilidad y seguridad (con barandas) y que disponga de toma de corriente eléctrica y de iluminación suficiente.
Humedad	Las condiciones de humedad pueden determinar el tipo de metodología a utilizar en el proceso de toma de muestras.
Contaminantes emitidos en fase gaseosa y sólida	Los contaminantes pueden ser emitidos en forma gaseosa o sólida. En estos casos, el muestreo debe realizarse con sistemas combinados que permitan la toma de muestras simultánea de gases y partículas sólidas, dependiendo del parámetro.
Tiempo de muestreo	Variará dependiendo del parámetro medido y del método utilizado. Puede estar comprendido entre los 30 minutos y las 6-8 horas.
Condiciones de referencia	Normalmente, el resultado de mediciones de emisiones a la atmósfera debe estar referenciado a 0 °C y 101,3 kPa y gas seco.

Tabla 5.9. Parámetros críticos en el control de emisiones a la atmósfera en el sector textil

5.2.4.2 Métodos de medición, cálculo y estimación de los contaminantes

Para la obtención de las concentraciones de las emisiones existen, en la actualidad, tres sistemas: cálculo, estimación y medición. La elección de un método u otro depende de diversos factores, tales como el tipo de contaminante, el impacto ambiental asociado a las emisiones, etc.

Sistemas de medición

En principio, el sistema de medición sería el más fiable de los tres.

Se distinguen dos tipos de medición de emisiones: medición en continuo y medición en discontinuo.

- Medición en continuo
- Consiste en la determinación de las emisiones a tiempo real. No es necesario un análisis posterior en laboratorio.
- Este tipo de mediciones puede realizarse mediante métodos extractivos o no extractivos. Los métodos extractivos consisten en una aspiración de la chimenea para la extracción de una muestra de gas, que posteriormente será acondicionada para llevar a cabo las determinaciones pertinentes. En los métodos no extractivos, la determinación se efectúa directamente en la chimenea.
- Las mediciones pueden desarrollarse mediante equipos fijos (medición in situ) o equipos móviles. Tanto unos como otros requieren de un cuidadoso mantenimiento y calibración periódica, que permita transformar con precisión la respuesta eléctrica que genera la presencia del contaminante analizado en medidas de concentración.

- Medición en discontinuo o puntual
- Consiste en la determinación puntual de las emisiones a la atmósfera en un periodo de tiempo limitado.
- La extracción de las muestras consiste en la separación de una muestra del contaminante analizado mediante el uso de equipos o técnicas extractivas y la utilización de sistemas de filtración o adsorción, y su posterior análisis en laboratorio. Este tipo de métodos requiere efectuar más de una medición para obtener un resultado fiable y representativo. No obstante, el número de mediciones necesarias depende del tipo de compuesto y del tiempo de extracción.
- En el sector textil no suele ser necesaria la aplicación de la medición en continuo, y se considera suficiente la realización de controles periódicos discontinuos.

Sistemas de estimación

Son métodos estadísticos de modelización basados en el uso de factores de emisión que provienen de fuentes representativas de la industria a la que se va a realizar el control.

Existen sistemas en los que se realizan cálculos o mediciones de los denominados parámetros sustitutivos, que suelen ser parámetros muy relacionados con los contaminantes que se quieren medir. Utilizando uno o varios de estos parámetros sustitutivos, se puede llegar a obtener conclusiones y estimaciones de las emisiones de dichos contaminantes.

Para demostrar la fiabilidad de la estimación, es necesario demostrar la relación entre el parámetro sustitutivo y el contaminante que se quiere medir.

Existen diversos tipos de parámetros sustitutivos:

- Sustitutivos de cantidad: dan información sobre la cantidad de emisión que se puede estar produciendo.
- Sustitutivos de calidad: dan información sobre la composición de la emisión.
- Sustitutivos indicativos: informa sobre una instalación o su proceso de producción.

Otro sistema de estimación muy habitual es el denominado *balance de masas* del proceso productivo, estimación realizada a partir de los diagramas de flujo de los diferentes procesos (entradas y salidas de componentes). Se puede utilizar en los casos en los que no se dispone de datos de muestreo, factores de emisión u otros valores.

Por ejemplo, en procesos de combustión, las emisiones de SO₂ están directamente relacionadas con la cantidad de azufre en el fuel, y en algunos casos, es más sencillo controlar el azufre en el fuel que las emisiones de SO₂.

Cuando parte del producto que entra es transformado, el balance de masas puede ser un método muy complicado.

El uso de balances de masas tiene gran potencial, cuando:

- Las emisiones son del mismo orden de magnitud tanto de entrada como de salida.
- Las cantidades de las sustancias pueden ser calculadas sobre un periodo de tiempo definido.

Sistemas de cálculo

El sistema de cálculo utiliza factores de emisión que se obtienen a partir de datos reales, hipótesis posibles o experiencias representativas. Se expresan como masa de contaminante emitido por unidad de actividad (e.g. cantidad de combustible, tasa de producción, etc.). Todos ellos se utilizan para la realización de cálculos.

Existen casos en que estos métodos requieren un gran volumen de datos o cálculos complejos, por lo que es necesario utilizar para su realización modelos específicos de cálculo por ordenador.

En ambos casos, la exactitud de la estimación que resulta de la utilización de estos métodos depende de la calidad de los datos disponibles. Por este motivo, antes de decidir usarlos es importante comparar las necesidades del método con las características de los datos que se van a utilizar.

5.2.5 Tipología de los sistemas de medición y control de las emisiones a la atmósfera de la industria textil

Actualmente, la normativa aplicable no establece métodos de referencia para la determinación de emisiones a la atmósfera y la verificación del cumplimiento de los límites aplicables dentro del sector textil, aunque sí se exigen requisitos técnicos para la acreditación de los laboratorios que realizan los análisis de las tomas de muestras.

No obstante, la selección de los métodos para la determinación de los compuestos emitidos puede basarse en los criterios establecidos por diferentes estándares aplicables a nivel nacional e internacional.

Del mismo modo que ocurre con la normativa técnica para vertidos, existen unos criterios establecidos a nivel europeo para unificar criterios entre los países con relación a las normas que aplicar para la elección del método de análisis, el cual consiste en:

- Métodos estándar requeridos en las Directivas de la Unión Europea.
- Normas UNE.
- Normas CEN.
- Normas ISO.
- Otras normas internacionales, principalmente de Estados Unidos (EPA) y de Alemania (VDI).
- Métodos alternativos, que necesitan la autorización previa del organismo competente.

En la tabla siguiente se exponen las principales normas utilizadas en España para la determinación de los compuestos emitidos. Se trata fundamentalmente de normas UNE, aunque en ocasiones se puedan utilizar otras normativas para determinaciones concretas (tradicionalmente las normativas VDI alemana y EPA norteamericana).

EMISIÓN	Tipo de muestreo	NORMA
Partículas sólidas	Continuo	UNE 77209:1989 Características de los monitores en continuo para la medida de la opacidad.
	Discontinuo	UNE 77223:1997 Determinación de la concentración y caudal másico de material particulado en conductos de gases. Método gravimétrico manual. Método n.º 5 EPA Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources.
Monóxido de carbono (CO)	Continuo	UNE 77252:2003 Determinación de monóxido de carbono. Método de espectrometría infrarroja no dispersiva.
Óxidos de nitrógeno (NOx)	Continuo	UNE 77212:1997 Determinación de la concentración másica de los óxidos de nitrógeno. Método de quimiluminiscencia.
	Discontinuo	UNE 77228:2002 Determinación de la concentración másica de óxidos de nitrógeno. Método fotométrico de la naftilendiamina (NEDA). Método n.º 7 EPA Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources.
Dióxido de azufre (SO ₂)	Continuo	UNE 77222:1996 Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Características de funcionamiento de los métodos automáticos de medida.
	Discontinuo	UNE 77216/1M:2000 Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método del peróxido de hidrógeno/perclorato de bario/torina. Método n.º 6 EPA Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources.
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Continuo	UNE-EN 13526: 2002 Determinación de la concentración másica de carbono orgánico gaseoso total en gases efluentes de procesos que emplean disolventes. Método continuo por detector de ionización de llama. Método n.º 25 A EPA Determination of Total Gaseous Organic Concentration using a Flame Ionization Analyzer. VDI 3481:1995: Determination of Volatile Organic Compounds, specialty solvents FID.
Dioxinas y furanos (PCDD/F)	Discontinuo	UNE-EN 1948.1: 1997: Determinación de la concentración másica de PCDD/PCDF. Parte 1: Muestreo. UNE-EN 1948.2:1997 Determinación de la concentración másica de PCDD/PCDF. Parte 2: Extracción y purificación. UNE-EN 1948.2:1998 ERRATUM Determinación de la concentración másica de PCDD/PCDF. Parte 2: Extracción y purificación. UNE-EN 1948.3: 1997 Determinación de la concentración másica de PCDD/PCDF. Parte 3: Identificación y cuantificación.

Tabla 5.10. Resumen de la normativa recomendada sobre las mediciones de los diferentes contaminantes en el sector textil (Fuente: AENOR)

5.3 Existencia de acuerdos para la prevención de la contaminación

Según el Consejo Intertextil Español, en 1990 se elaboró, junto con el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, un protocolo para la adecuación progresiva de los vertidos de aguas residuales generadas por el sector de acabados de la industria textil de Catalunya a la normativa vigente. Dicho protocolo se elaboró con anterioridad a la entrada en vigor de los Planes de Descontaminación Gradual (PDG), y derivó en un acuerdo entre el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya y el sector textil. El acuerdo tuvo una vigencia de 3 años.

6. TÉCNICAS EMERGENTES Y TÉCNICAS OBSOLETAS

6.1 Introducción

Según el «Estudio sobre la Valoración Tecnológica» del sector textil realizado por el Centro de Información Textil y de la Confección (CITYC), la situación competitiva de la maquinaria de los principales subsectores textiles en España es la siguiente:

6.1.1 Hilatura

Para evaluar la situación competitiva del subsector de la hilatura, este se ha dividido en los siguientes tipos:

- Hilatura del algodón convencional (continua de filar).
- Hilatura del algodón *open-end* (rotores).
- Hilatura de lana peinada.
- Hilatura de lana cardada.

La valoración tecnológica de este subsector se ha reflejado en la siguiente tabla:

Clasificación de la maquinaria existente según su nivel competitivo	Algodón		Lana	
	Hilatura convencional	Hilatura <i>open-end</i>	Peinada	Cardada
Maquinaria muy moderna, de tecnología avanzada, de elevada productividad y prestaciones, cuya renovación no es necesaria a corto plazo.	28 %	43 %	24 %	13 %
Maquinaria moderna, de tecnología menos avanzada, de productividad y prestaciones medianas, cuya renovación es necesaria a corto plazo.	39 %	38 %	41 %	25 %
Maquinaria obsoleta debido a su antigüedad, a la tecnología utilizada o a sus bajas prestaciones.	33 %	19 %	35 %	62 %

Fuente: Estudio de Valoración Tecnológica. CITYC (1995)

Tabla 6.1. Valoración tecnológica del subsector de la hilatura

Como se puede observar, destaca el elevado grado de modernidad de la hilatura del algodón con sistema Open-end. En sentido contrario, destaca el cardado de lana, con un elevado número de equipamientos obsoletos.

6.1.2 Tejido

Para evaluar la situación competitiva del subsector del tejido, este se ha dividido en los siguientes tipos:

- Tejido del algodón.
- Tejido de la lana.

- Tejido de la seda y de las fibras continuas.

La valoración tecnológica de este subsector se describe en la tabla siguiente:

Clasificación de la maquinaria existente según su nivel competitivo	Algodón	Lana	Seda y fibras continuas
Maquinaria muy moderna, de tecnología avanzada, de elevada productividad y prestaciones, cuya renovación no es necesaria a corto plazo.	37	37	64
Maquinaria moderna, de tecnología menos avanzada, de productividad y prestaciones medianas, cuya renovación es necesaria a corto plazo.	38	39	26
Maquinaria obsoleta debido a su antigüedad, a la tecnología utilizada o a sus bajas prestaciones.	25	24	10

Fuente: Estudio de Valoración Tecnológica. CITYC (1995)

Tabla 6.2. Valoración tecnológica del subsector del tejido

Como se puede observar, las instalaciones más modernas son las del tejido de la seda o de fibras continuas, con una elevada proporción de teleros modernos (de agua, aire, etc.), muy apropiados para los hilos utilizados por este subsector.

6.1.3 Acabado

Para evaluar la situación competitiva del subsector del acabado, este se ha dividido en los siguientes tipos:

- Tintura.
- Otros Acabados.
- Estampado.

La valoración tecnológica de este subsector se describe en la siguiente tabla:

Clasificación de la maquinaria existente según su nivel competitivo	Tintura	Otros Acabados	Estampado
Maquinaria muy moderna, de tecnología avanzada, de elevada productividad y prestaciones, cuya renovación no es necesaria a corto plazo.	35	33	21
Maquinaria moderna, de tecnología menos avanzada, de productividad y prestaciones medianas cuya renovación es necesaria a corto plazo.	42	40	50
Maquinaria obsoleta debido a su antigüedad, a la tecnología utilizada o a sus bajas prestaciones.	23	27	30

Fuente: Estudio de Valoración Tecnológica. CITYC (1995)

Tabla 6.3. Valoración tecnológica del subsector del acabado

Como puede observarse, el mayor grado de modernidad en los procesos de acabado se sitúa en la tintura: un 35 %. Por sectores, el acabado de la lana se considera mejor equipado que el del algodón y la seda.

6.1.4 Género de punto

Debido a la complejidad del subsector del género de punto, este se ha dividido según el tipo de máquinas en:

- Rectilíneas.
- Circulares.
- Circulares de diámetro pequeño.
- Ketten-Raschel.

La valoración tecnológica de este subsector se describe en la siguiente tabla:

Clasificación de la maquinaria existente según su nivel competitivo	Rectilíneas	Circulares	Circulares de pequeño diámetro	Ketten-Raschel
Maquinaria muy moderna, de tecnología avanzada, de elevada productividad y prestaciones, cuya renovación no es necesaria a corto plazo.	24	16	33	21
Maquinaria moderna, de tecnología menos avanzada, de productividad y prestaciones medianas, cuya renovación es necesaria a corto plazo.	32	35	31	38
Maquinaria obsoleta debido a su antigüedad, a la tecnología utilizada o a sus bajas prestaciones.	44	49	36	41

Fuente: Estudio de Valoración Tecnológica. CITYC (1995)

Tabla 6.4. Valoración tecnológica del subsector del género de punto

6.2 Técnicas emergentes

En el presente apartado se exponen las principales técnicas emergentes aplicables al sector textil, que son las siguientes:

- Catálisis por enzimas en los procesos de acabado.
- Tecnología plasma.
- Tratamiento de rayos catódicos.
- Utilización de CO₂ supercrítico en procesos de tintura.
- Tratamiento ultrasónico.
- Tintura electroquímica.
- Auxiliares alternativos.
- Lógica borrosa (*fuzzy logic*).
- Control *on-line*.
- Oxidación avanzada.
- Reutilización de aguas residuales urbanas.

6.2.1 Catálisis por enzimas en los procesos de acabado

Las enzimas son proteínas que actúan como biocatalizadores. Tienen la capacidad de activar y acelerar las reacciones químicas, permitiendo el desarrollo de procesos menos agresivos que los convencionales.

Hasta el momento, el uso de enzimas en reacciones químicas solamente se ha aplicado para procesos de tratamiento de fibras naturales.

Las ventajas de la catálisis por enzimas en los procesos de acabado son las siguientes:

- Reducción del consumo de energía, ya que los procesos se pueden aplicar a temperaturas más bajas.
- Reducción del consumo de agua, debido a que se pueden eliminar etapas de aclarado.
- En algunos casos, reducción o eliminación del empleo de sustancias nocivas.
- Posibilidad de reciclaje de las enzimas utilizadas.

En la siguiente tabla se muestran los procesos enzimáticos utilizados en el sector textil:

Fibra	Tratamiento	Enzimas	Sustrato	Grado de desarrollo
Algodón	Desencolado	Amilasas Amiloglucosidasas	Almidón	Disponible
	Descrudado	Pectinasas	Fibra de algodón	Disponible
	Descrudado	Mezcla enzimática	Fibra de algodón	Emergente
	Blanqueo	Glucoseosadasas	Lignina, colorantes, glucosa	Emergente
	Degradación del H ₂ O ₂ residual después del blanqueo	Peroxidasas	H ₂ O ₂	Disponible
	<i>Bio-polish</i>	Celulasas	Celulosa	Disponible
	<i>Bio-stoning</i>	Celulasas	Celulosa	Disponible
Lana	Desgrasado	Lipasas	Lanolina	Emergente
	Antifieltrado	Enzimas especiales	--	Emergente
Seda	Desgomado	Sericinasas	Sericina	Emergente
Lino	Suavizante	Pectinesterasas	Fibra de lino	Emergente
Yute	Blanqueo	Celulasas, xilanasas	Fibra de yute	Emergente
	Suavizante			

Tabla 6.5. Enzimas utilizadas actualmente y enzimas en uso emergente en el sector textil

6.2.2 Tecnología plasma

El plasma es una mezcla de gases parcialmente ionizados. Los electrones presentes en el plasma pueden producir modificaciones físicas y químicas de la superficie de un sustrato a tratar.

Se puede aplicar a todos los tipos de fibras para la realización de los siguientes procesos:

- Desgrasado de la lana.
- Desencolado.
- Cambios en las propiedades de la fibra (propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas).
- Incremento de la afinidad de los colorantes.
- Mejora de las propiedades de igualación de los colorantes.
- Antifieltrado de la lana.
- Esterilización (tratamiento bactericida).

Las principales ventajas de la tecnología plasma son las siguientes:

- Reducción del tiempo de tratamiento.
- Reducción del consumo de energía, ya que se aplican temperaturas más bajas.
- Reducción o eliminación del uso de agua, disolventes y otras sustancias químicas.

Concretamente, en el antifieltrado de la lana se consigue una menor degradación de la fibra y se evita la presencia de AOX en las aguas residuales.

6.2.3 Tratamiento de rayos catódicos

El tratamiento de un sustrato con rayos catódicos activa las reacciones de polimerización con radicales libres, por lo que puede ser utilizado para los siguientes procesos:

- Revestimiento.
- Laminación.

La utilización de los rayos catódicos puede evitar el uso de disolventes, y así reducir las emisiones de COV durante las operaciones de secado del sustrato.

Esta técnica ya ha sido aplicada en otros sectores y, por lo tanto, su puesta en práctica en el sector textil es previsible que se produzca en los próximos años.

6.2.4 Utilización de CO₂ supercrítico en procesos de tintura

Los fluidos supercríticos son gases sometidos a condiciones de alta presión, de manera que el fluido resultante dispone de propiedades características tanto de los líquidos como de los gases.

Los fluidos supercríticos permiten disolver las moléculas orgánicas de polaridad baja y media. Concretamente, se utiliza el CO₂ supercrítico dado que se trata de un fluido supercrítico no inflamable, explosivo ni tóxico.

Este método se utiliza para la tintura de la fibra de poliéster y polipropileno. Para su aplicación en la lana, la poliamida y el algodón, esta técnica es problemática debido a la naturaleza polar de los colorantes utilizados para la tintura de estas fibras.

Las ventajas de la tintura con CO₂ supercrítico son las siguientes:

- Consumo prácticamente nulo de agua.
- Emisión nula de gases al aire (el CO₂ puede ser reciclado).
- Uso de un producto no inflamable, no explosivo ni tóxico.
- Eliminación del proceso de secado después de la tintura.
- Reducción o eliminación de los agentes de igualación y agentes dispersantes.
- Posibilidad de reciclaje de los colorantes residuales.

Sin embargo, esta técnica presenta un coste de inversión elevado.

6.2.5 Tratamiento ultrasónico

El tratamiento de sustratos por ultrasonido mejora considerablemente la dispersión de los colorantes y auxiliares, y potencia su emulsificación y solubilización. Esto permite mejorar la homogeneidad del baño de tintura y obtener un mayor nivel de agotamiento. Asimismo, los ultrasonidos producen un efecto de desaireación en los baños y el tejido.

Los beneficios medioambientales del tratamiento ultrasónico en los procesos de acabado son los siguientes:

- Reducción del consumo de energía debido a las temperaturas más bajas de proceso y a los ciclos más cortos.
- Reducción del consumo de auxiliares (agentes de desaireación).

6.2.6 Tintura electroquímica

En los procesos de tintura con colorantes tina y colorantes sulfurosos, estos deben ser tratados con agentes reductores y oxidantes. La tintura electroquímica puede ser una alternativa a estos agentes.

En la tintura electroquímica se emplean dos tipos de electrólisis:

- La electrólisis directa, en la que se reduce el colorante en la superficie del cátodo. Se aplica en colorantes sulfurosos.
- La electrólisis indirecta, en la que el poder de reducción del cátodo es transferido al baño de tintura con la introducción de un sistema reversible redox. Los reductores se generan continuamente en el cátodo, permitiendo el reciclado continuo de los baños de tintura y de los reductores. Se aplica en colorantes tina.

El beneficio medioambiental de la tintura electroquímica consiste en la eliminación del uso de los agentes reductores y oxidantes.

6.2.7 Auxiliares alternativos

6.2.7.1 Agentes complejantes

El uso de ácido poliaspárgínico como sustituto de los agentes complejantes convencionales está actualmente en fase de estudio.

6.2.7.2 Agentes reticulantes

Los ácidos policarbónicos pueden ser utilizados como alternativa a los agentes reticulantes basados en N-metilol, principal responsable de las emisiones de formaldehídos.

6.2.7.3 Biopolímeros

El quitosano, derivado desacetilado de la quinina, es el biopolímero más utilizado en la industria textil.

Algunos ejemplos de aplicación del quitosano y sus posibles ventajas son:

- Permite obtener un efecto antimicrobiano permanente mezclando un 10 % de fibras de quitosano con fibras de algodón o rociando soluciones de quitosano sobre los no-tejidos. Comparado con otros antimicrobianos, el quitosano no es tóxico.
- Aumenta la rapidez de la tintura con colorantes directos.
- Aumenta la absorción de los colorantes y puede actuar como suavizante o astringente para los no-tejidos.
- Puede ser usado como aditivo en pastas de estampación y colas.
- Es beneficioso para los tratamientos de las aguas residuales.

6.2.8 Lógica difusa (fuzzy logic)

La lógica difusa es una técnica matemática basada en mejoras del software con la que se puede obtener una mayor fiabilidad en los procesos productivos. Esto puede conllevar un aumento de la productividad y una mejora de la calidad final.

Los principales beneficios medioambientales de la aplicación de la lógica difusa son:

- Reducción del consumo de energía y agua.
- Reducción del consumo de sustancias químicas.

6.2.9 Monitorización *on-line*

El control de los procesos mediante una monitorización *on-line* aumenta la fiabilidad de las operaciones.

Los estudios realizados en este sentido son los siguientes:

- Tintura: control *on-line* de la concentración de DQO, relacionada directamente con la concentración de colorantes durante las operaciones de lavado y aclarado en los procesos discontinuos. En caso de que la concentración de colorantes en el baño de aclarado sea despreciable, los procesos de aclarado automáticos se paralizan. Esta técnica permite un importante ahorro de agua y de energía.
- Tintura y blanqueo: control *on-line* de la concentración de agentes de reducción y de oxidación en los tejidos. Permite evitar un uso excesivo de sustancias químicas.
- Tintura con colorantes tina: control *on-line* del potencial redox. Es posible detectar exactamente el punto en el cual los agentes de reducción son completamente eliminados durante el aclarado. Entonces el aclarado puede detenerse y se adhieren al baño los agentes de oxidación.

6.2.10 Procesos de oxidación avanzada

Los procesos de oxidación avanzada consisten en un tratamiento de las aguas residuales basado en una fotólisis del peróxido de hidrógeno activada por rayos UV (para la decoloración), combinado con un proceso de bioflotación (para la destrucción de la materia orgánica).

Con la aplicación de estos tratamientos se puede obtener una completa decoloración de cualquier tipo de aguas residuales.

El objetivo final de los procesos de oxidación avanzada es el reciclaje de las aguas residuales después de un proceso de filtración y de destrucción del colorante.

6.2.11 Reutilización de las aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas son sometidas habitualmente a procesos de depuración con los que se consigue una calidad apta para el vertido al medio. No obstante, la aplicación de un posterior tratamiento terciario adecuado puede permitir la reutilización de esta agua para determinados usos, como por ejemplo la industria textil.

Sin embargo, la reutilización de aguas residuales puede presentar numerosas limitaciones, relacionadas con la calidad del agua de origen. Por ello, la aplicación de esta alternativa exige un control exhaustivo de los vertidos municipales, con el objetivo de evitar la presencia de «sustancias no deseables» que pudieran dificultar o incluso evitar el tratamiento terciario, con el consiguiente perjuicio sobre las instalaciones.

La reutilización de aguas residuales en el sector textil podrá reducir de forma importante el consumo de agua, siempre y cuando sea posible adaptar su calidad a las necesidades del sector.

6.3 Técnicas Obsoletas

Las técnicas utilizadas actualmente en la industria textil continúan siendo básicamente las mismas que las que se utilizaban hace 30 años. Sin embargo, se ha producido una evolución en estas en busca de mejores rendimientos en los consumos de agua, energía y materias primas, así como menores impactos ambientales.

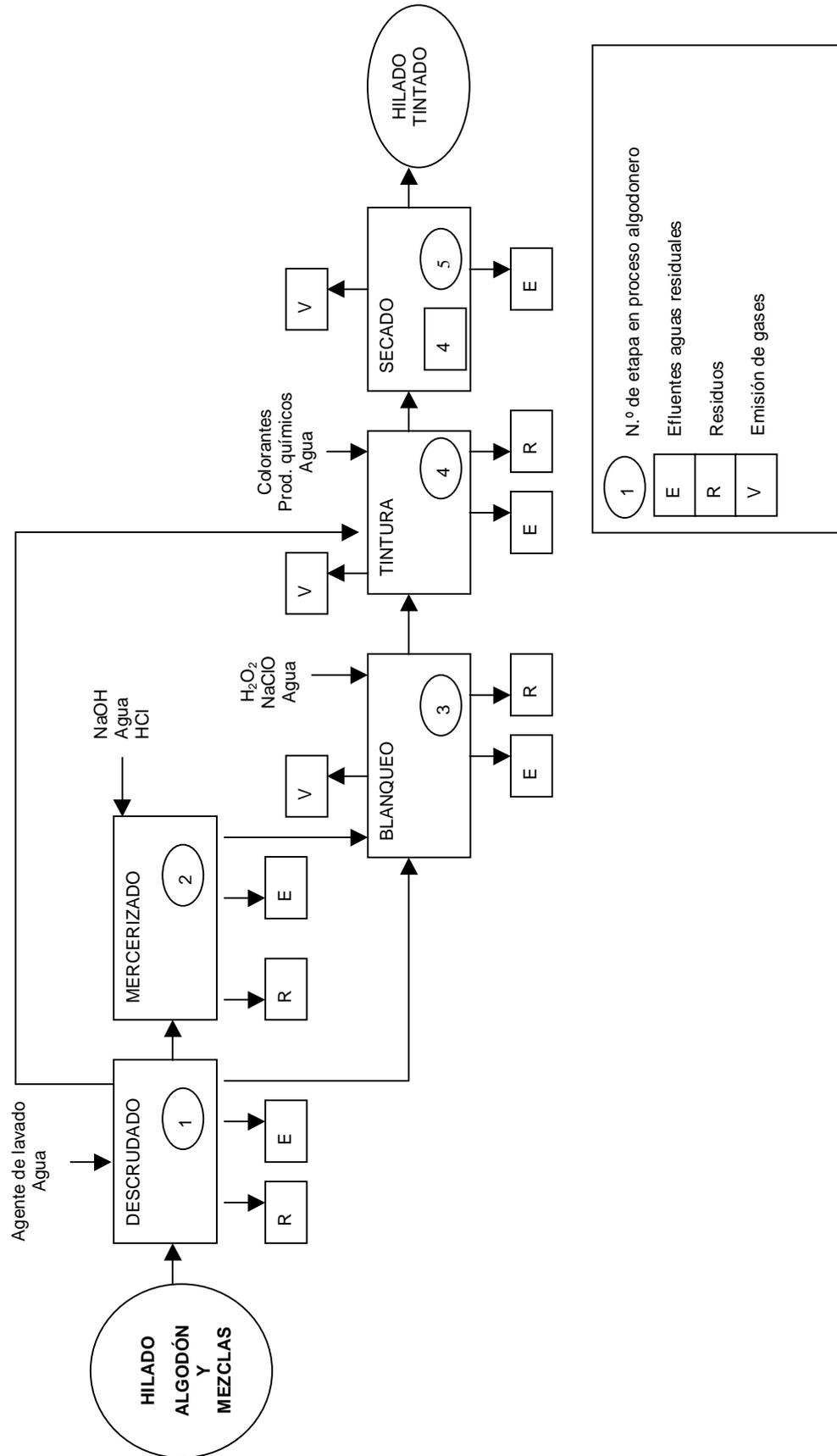
Se destacan las siguientes:

- Se ha modificado la maquinaria permitiendo relaciones de baño más largas, así como un ahorro del consumo de agua, energía y sustancias. Asimismo, se ha sustituido progresivamente la madera por el acero inoxidable como material para la fabricación de la maquinaria.
- Se han sustituido los reactivos y sustancias en general perjudiciales para el medio ambiente por otras menos agresivas y de similar eficiencia. Entre ellas destacan las siguientes:
 - Alcalis, sales: se han reducido las cantidades de estos productos y otras sustancias perjudiciales en las descargas a los efluentes.
 - Formaldehídos: se han sustituido por productos que no lo contienen o lo tienen estabilizado.
 - Carriers: el consumo de carriers ha disminuido considerablemente (principalmente los carriers halogenados), con la reducción de las temperatura de los baños en la tintura.
 - Hipoclorito: ha sido sustituido en métodos de blanqueo por el peróxido de hidrógeno.
 - Cloro: en el apresto de fácil cuidado, el método de cloración ha sido reducido por el de oxidación o alcalino.
 - Cromo: las tinturas con una alta concentración de cromo han sido sustituidas por colorantes premetalizado.

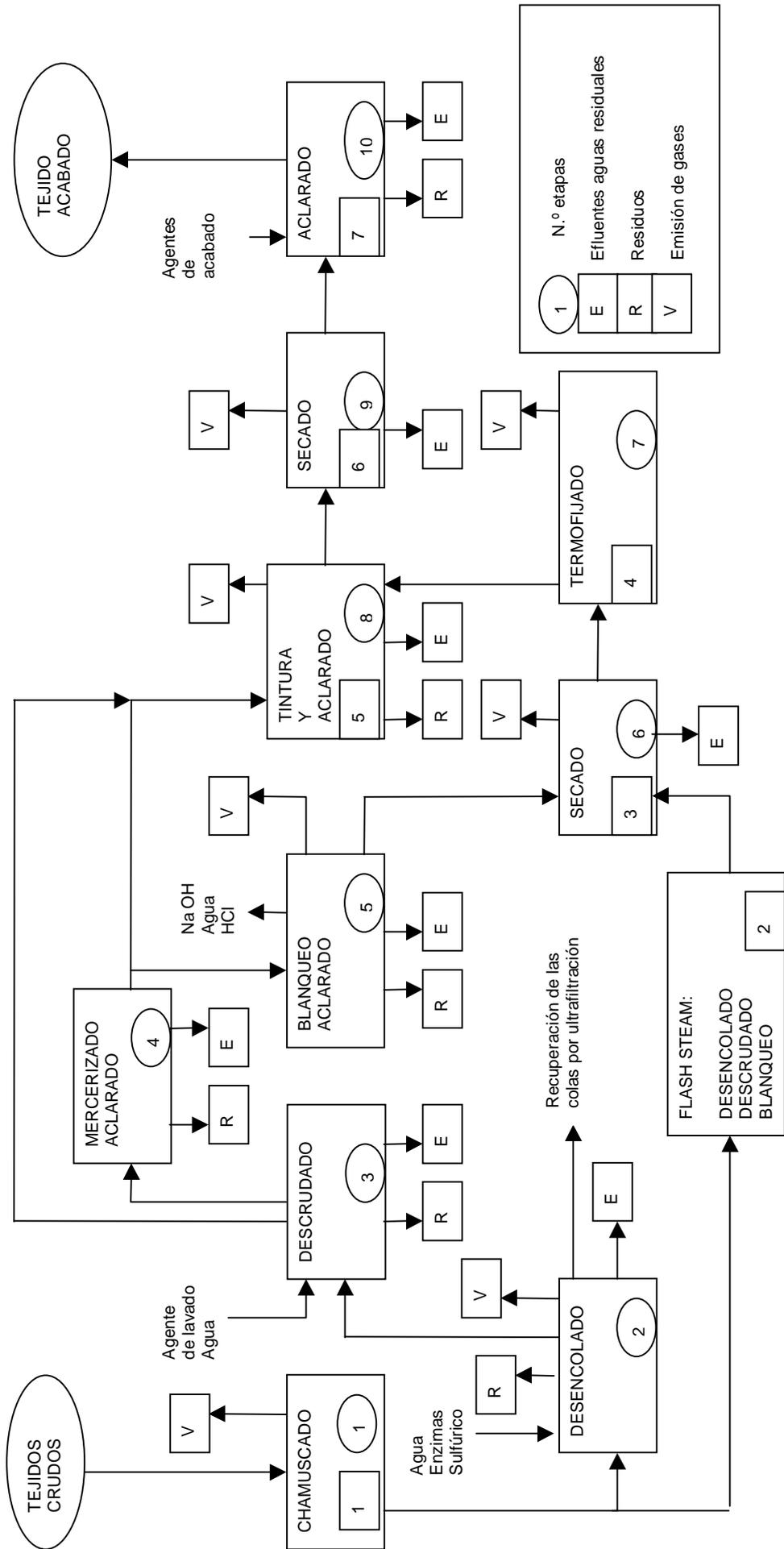
7. ANEXOS

7.1 Anexo I: Diagramas de flujo

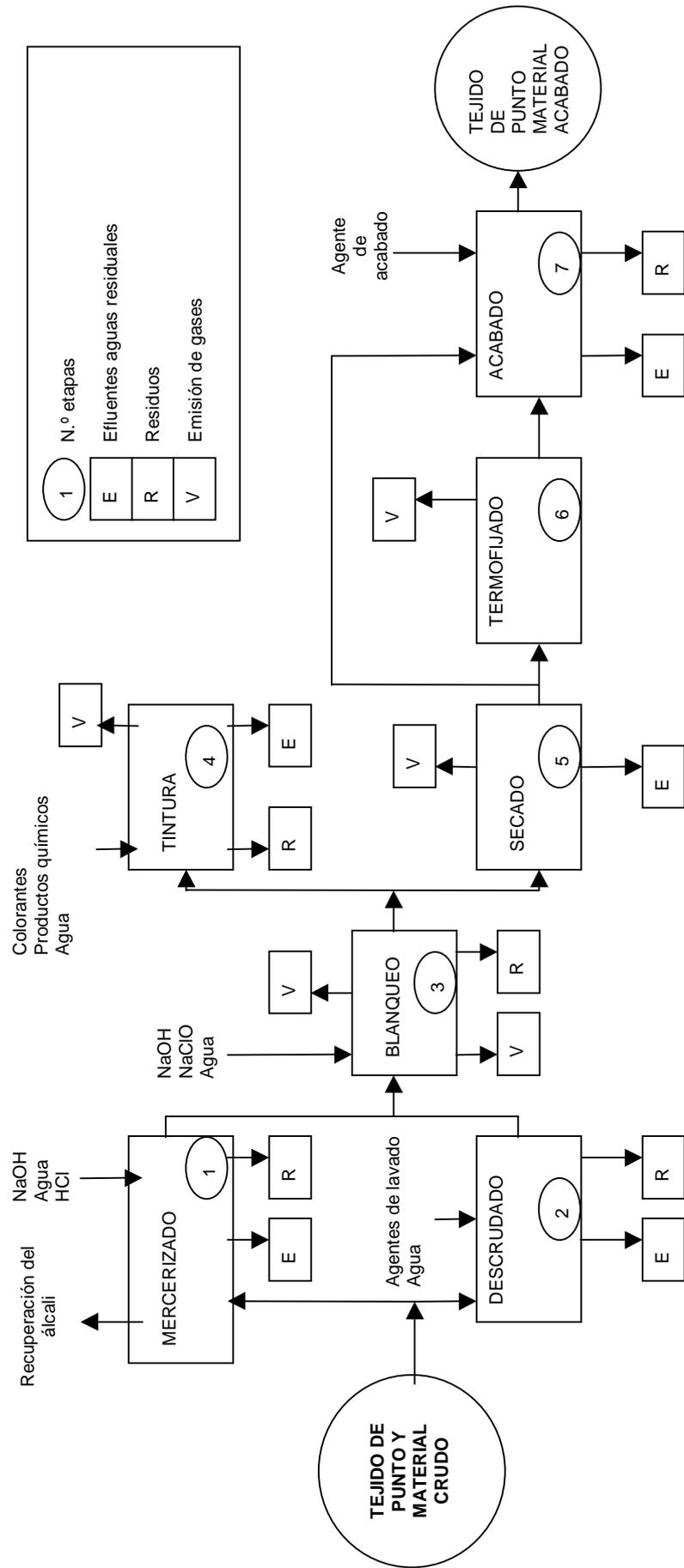
TINTURA DE FIBRAS E HILADOS DE ALGODÓN



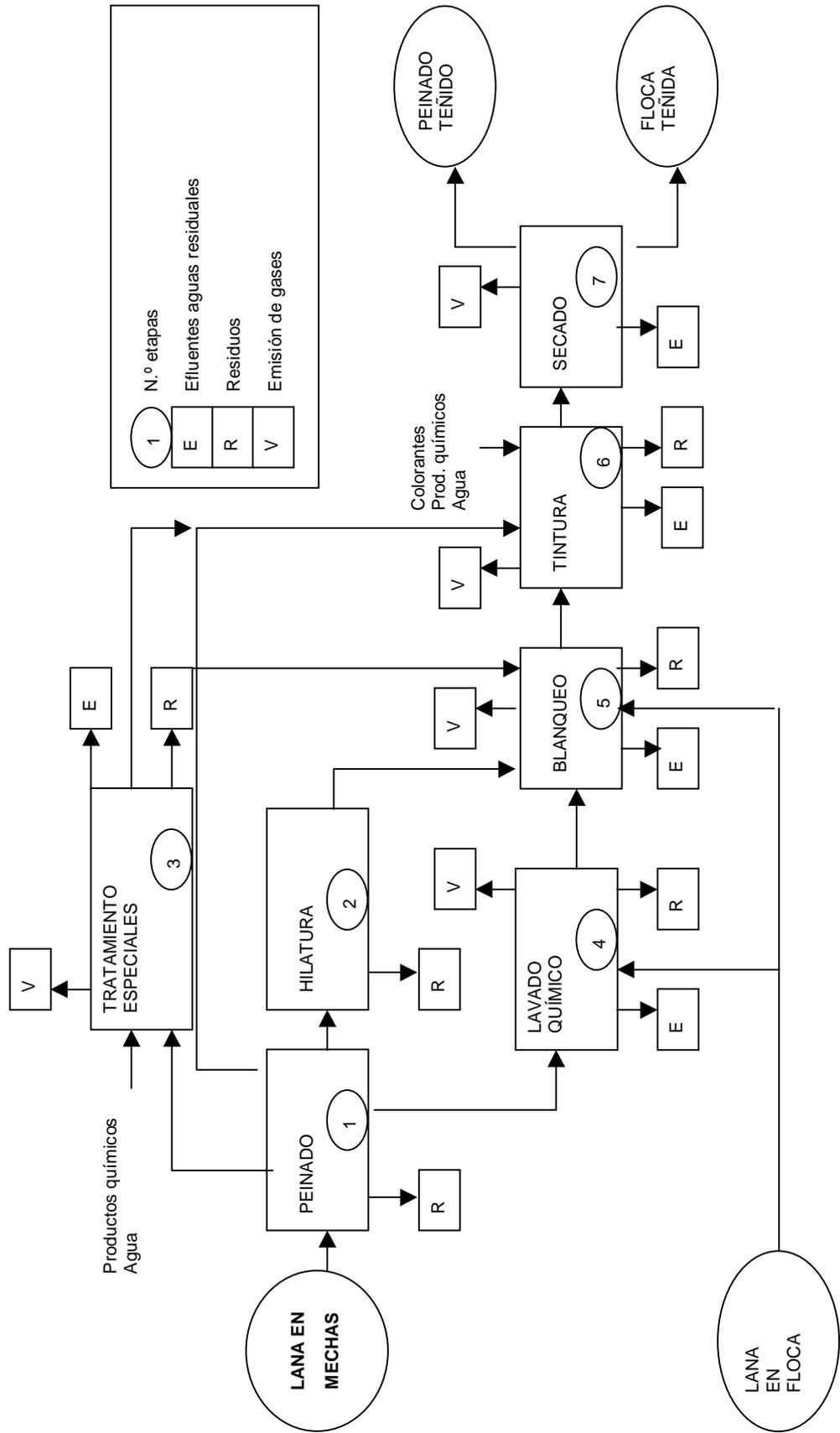
TINTURA Y ACABADO DE TEJIDOS DE ALGODÓN Y SUS MEZCLAS



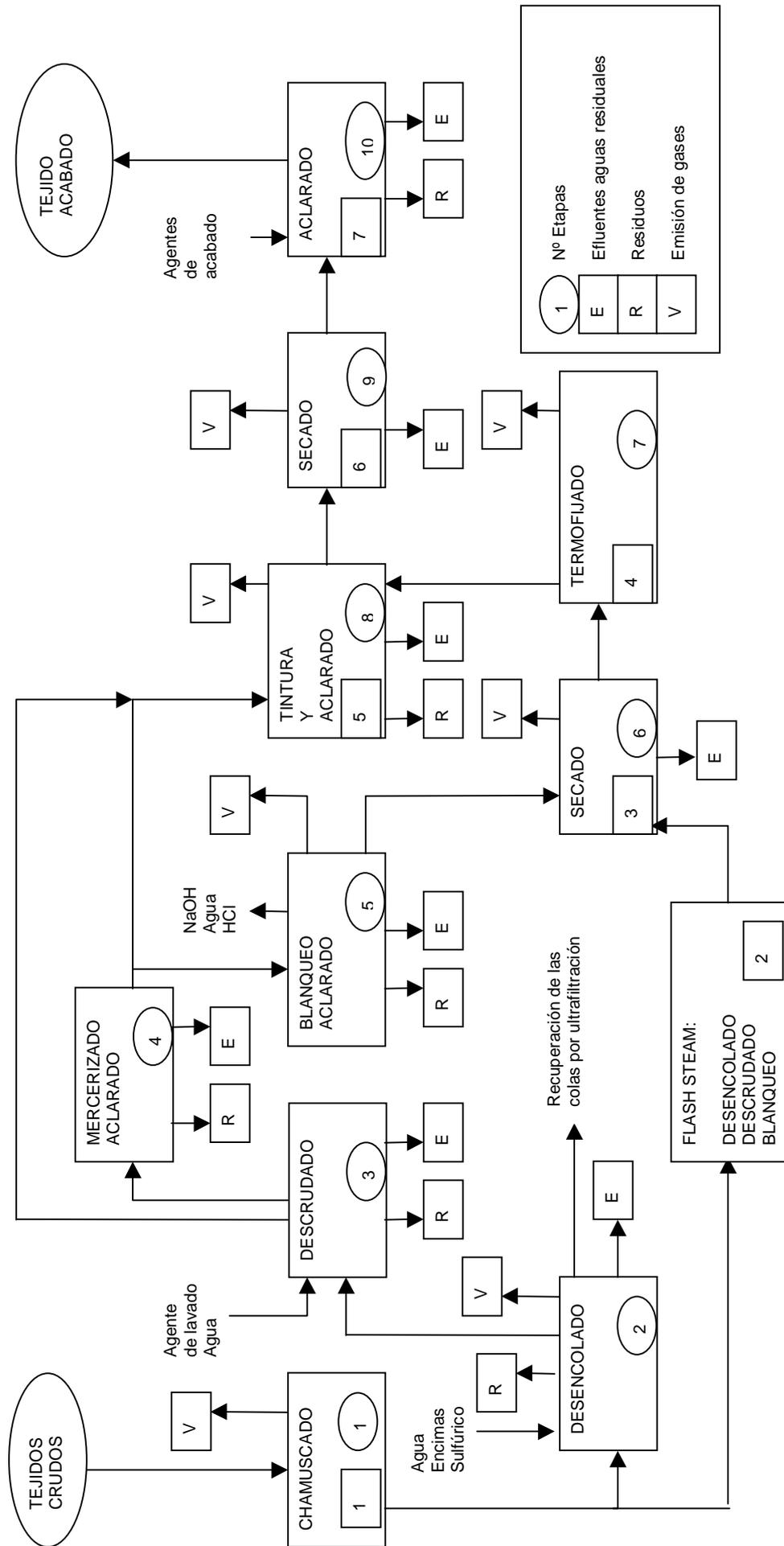
TINTURA Y ACABADO DE GÉNEROS DE PUNTO DE CELULÓSICAS Y MEZCLAS



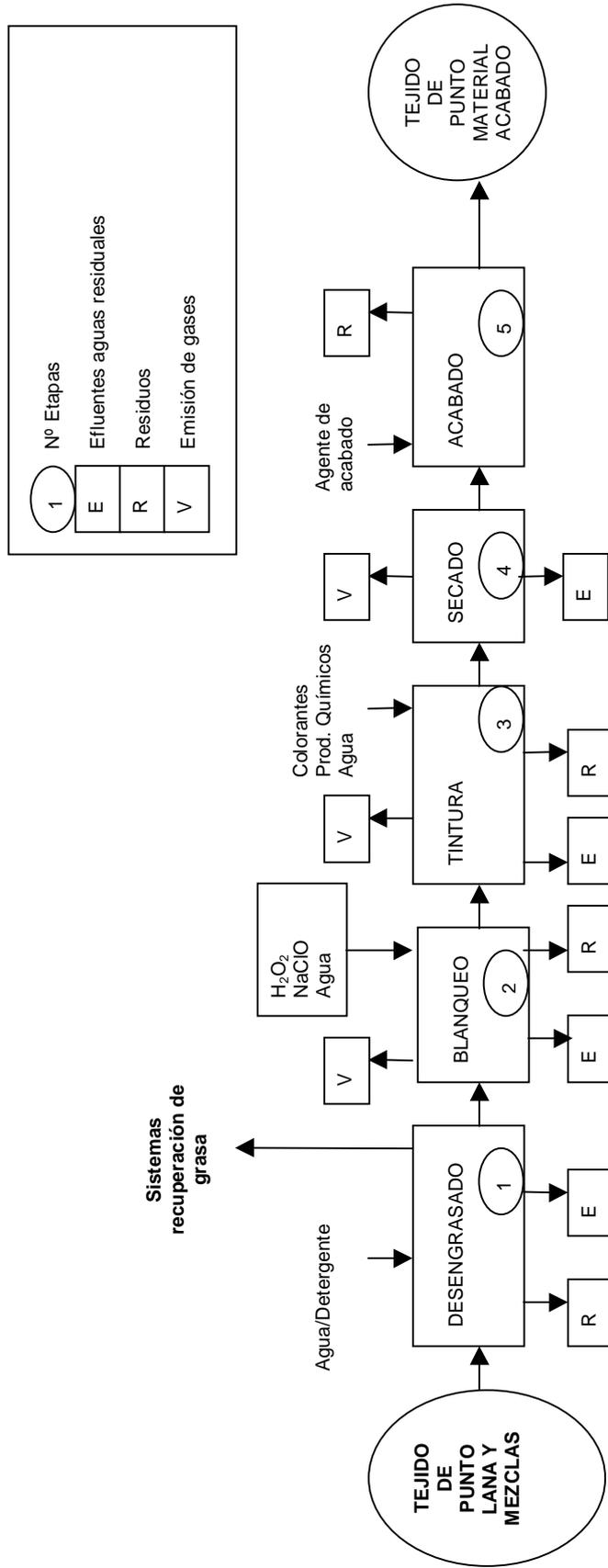
TINTURAS DE FIBRAS E HILADOS DE LANA



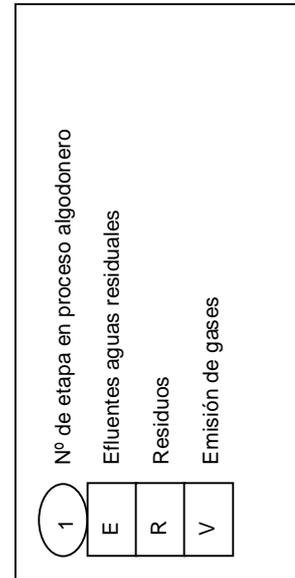
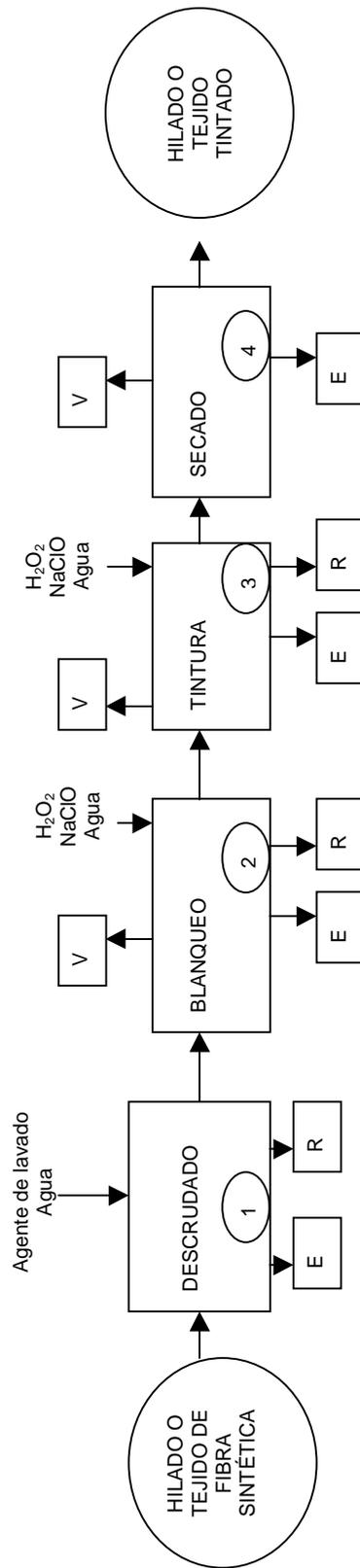
TINTURA Y ACABADO DE TEJIDOS DE ALGODÓN Y SUS MEZCLAS



TINTURA Y ACABADO DE GÉNEROS DE PUNTO Y LANA Y MEZCLAS



TINTURA Y ACABADO DE TEJIDOS Y FIBRAS SINTÉTICAS



7.2 Anexo II: Técnicas y tecnologías usadas en los procesos mojados

7.2.1 Procesos Discontinuos

7.2.1.1 Autoclave

Se utiliza para la tintura discontinua de la fibra suelta, del hilo en bobinas y en conos y del tejido. Se trata de una máquina en la que la fibra, el hilo o el tejido se mantienen estáticos, mientras que el baño está en circulación impulsado por una bomba. El recipiente está cerrado y se trabaja a presión.

Las relaciones de baño dependen del tipo de máquina, del nivel de carga y del tipo de fibra o hilo. Así, para la fibra suelta, varían de 1:4 a 1:12, mientras que, para el hilo en bobinas o conos, fluctúan entre 1:8 a 1:15.

7.2.1.2 Armario

Se utiliza para la tintura discontinua de madejas. Se trata de una máquina en la que la madeja se mantiene estática, mientras que el baño está en circulación impulsado por una bomba. El recinto está a presión atmosférica.

Las relaciones de baño varían entre 1:15 y 1:40.

7.2.2 Procesos continuos

7.2.2.1 Barca Torniquete

Se utiliza para la tintura del tejido a la cuerda. Se trata de un equipo en el que el baño se mantiene estático en la parte baja, mientras que el tejido, guiado por un rodillo, está en circulación. Actualmente esta máquina se sustituye por jets y overflows.

Las relaciones de baño varían entre 1:15 y 1:40.

7.2.2.2 Jet

Se utiliza para la tintura del tejido en forma a la cuerda. Se trata de un equipo en el que el tejido es transportado, por la acción de una tobera, a través de un sistema tubular cerrado, donde están en movimiento simultaneo el baño y el tejido. La velocidad elevada que la inyección confiere al baño produce una turbulencia que facilita la penetración del colorante hacia el interior del tejido y aporta una buena igualación a la tintura, en tiempos más cortos, y con menor consumo de agua que en las barcas torniquete.

Las relaciones de baño varían entre 1:4 y 1:10.

7.2.2.3 Overflow

Se utiliza para la tintura de los tejidos a la cuerda. Se trata de una máquina diseñada, en principio, para tejidos delicados, en la que el tejido es transportado por el flujo de baño debido a la fuerza de la gravedad.

Las relaciones de baño varían entre 1:12 y 1:20.

7.2.2.4 Soft-flow

Se utiliza para la tintura de los tejidos delicados a la cuerda. Se trata de una máquina que utiliza el mismo tubo de transporte que el Overflow, pero combinado con rodillos de aspa y jets.

7.2.2.5 Airflow

Se utiliza para la tintura de los tejidos a la cuerda. Se trata de una máquina muy similar a los jets, pero, a diferencia de estos, el tejido es transportado a través de un sistema tubular cerrado debido al impulso de una mezcla de aire y baño. El consumo de agua es mucho más reducido.

Las relaciones de baño varían entre 1:2 y 1:5.

7.2.2.6 Beam

Se utiliza para la tintura de los tejidos a lo ancho. Se trata de una máquina en la que el tejido se enrolla sobre un cilindro perforado, produciéndose un flujo de baño desde el interior del cilindro hacia el exterior.

Las relaciones de baño varían entre 1:8 y 1:15.

7.2.2.7 Jigger

Se utiliza para la tintura de los tejidos "a lo ancho". Se trata de una máquina compuesta por dos rodillos. El tejido se enrolla en uno de ellos, pasa luego a través del baño estático y, finalmente, se enrolla en el otro cilindro.

Las relaciones de baño varían entre 1:3 y 1:10.

7.2.2.8 Foulard

Se trata de una máquina que tiene la función de impregnar el material textil con cualquier líquido. Se describe en este apartado ya que representa la primera etapa de los procesos que siguen a continuación.

7.2.2.9 Pad-batch

En este proceso se impregna el tejido en un foulard. Posteriormente se enrolla en un cilindro y se almacena en una sala con control de la temperatura, manteniendo el tejido enrollado, en rotación lenta. Finalmente, se procede al lavado del tejido.

7.2.2.10 Pad-roll

Este proceso es muy similar al anterior, pero en este caso, después de la impregnación, el tejido se seca en un horno por infrarrojos. Posteriormente se enrolla en un cilindro y se almacena en una sala con flujo de aire caliente, manteniendo el tejido enrollado en rotación lenta. Finalmente, se procede al lavado del tejido.

7.2.2.11 Pad-jig

Se utiliza únicamente para la tintura semicontinua, con tintes directos y reactivos, de tejidos muy pesados. En este proceso se impregna el tejido en un foulard, para proceder después a la fijación del tinte en un jigger.

7.2.2.12 Pad-steam

Esta técnica se utiliza, principalmente, para la aplicación de tintes directos, sulfurosos, reactivos y de tina.

En este proceso se realiza una primera impregnación del tejido en un foulard. Luego se vaporiza a unos 100°C, para proceder a otra impregnación del tejido en un foulard con productos auxiliares. Finalmente se procede a su lavado y aclarado.

7.2.2.13 Pad-dry

En este proceso, se realiza una impregnación del tejido en un foulard. Luego se procede a un secado intermedio en un horno por infrarrojos y posteriormente se realiza la fijación en un hot-flue. Finalmente, se lava el tejido.

7.2.2.14 Proceso Thermosol

Esta técnica es exclusiva para la tintura, con colorantes dispersos, del poliéster o de mezclas de este con algodón.

En este proceso, se realiza una impregnación del tejido en un foulard. Luego se procede a un presecado del tejido en un horno por infrarrojos. Posteriormente se seca en un hot-flue y finalmente se produce la fijación térmica a 200°C en la rame.

7.3 Anexo III: Glosario

Aditivo: Sustancia que se agrega a otras para aportar cualidades de las que carecen o para mejorar las que poseen.

Aglomerante: Sustancia capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.

Antiespumante: Agente que impide la formación de espuma.

Bioacumulación: Aumento progresivo en la cantidad de un producto químico en un organismo o en parte de él. Ocurre cuando la tasa de absorción de la sustancia por parte del organismo es superior que la capacidad que este tiene para eliminarla.

Biodegradabilidad: Capacidad de un compuesto orgánico para ser oxidado biológicamente por bacterias. Habitualmente se expresa en %.

Bioeliminación: Separación, generalmente de la fase acuosa, de una sustancia en presencia de organismos vivos mediante procesos biológicos complementados por reacciones fisicoquímicas. Habitualmente se expresa en %.

Bobinado: Proceso por el cual se arrollan o devanan los hilos en forma de bobina, generalmente sobre un carrete.

Calado: Proceso de sacar y juntar hilos de una tela o tejido que se realiza con una aguja.

Carbono orgánico total (COT): Parámetro que mide el carbono total contenido en una determinada muestra.

Compuesto orgánico volátil (COV): Parámetro que mide los compuestos orgánicos volátiles contenidos en una determinada muestra.

Cardado: Proceso de preparación y limpieza de la lana antes de ser hilada.

Carrier: Sustancia que se añade a los baños de tintura para acelerar la fijación, corregir colores defectuosos o igualar tonalidades.

Catalizador: Sustancia que altera la velocidad de una reacción química, sin alterar su equilibrio ni generar cambios esenciales en la forma o la composición al final de la reacción.

Churre: Tipo de grasa generada en el proceso de lavado de la lana.

Color: parámetro que mide la coloración de una muestra de agua. La unidad de medida es mg Pt-Co/l.

Compuestos halogenados orgánicos absorbibles (AOX): Parámetro que mide los compuestos halogenados contenidos en una determinada muestra

Conductividad: Parámetro que mide la concentración de sales y otros iones que se encuentran disueltos en el agua. Los valores de conductividad suelen expresarse en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Parámetro que mide el oxígeno consumido por los microorganismos que descomponen los compuestos orgánicos presentes en el agua. Este parámetro es un indicador de la contaminación orgánica del agua. Los valores de DBO suelen expresarse en $\text{mg O}_2/\text{l}$.

Demanda química de oxígeno (DQO): Parámetro que mide la contaminación química del agua, basada en la determinación de los miligramos de oxígeno (O_2) consumidos por litro de muestra que se somete a un proceso de digestión. Los valores de DQO suelen expresarse en $\text{mg O}_2/\text{l}$.

Desgrasar: Proceso de extracción de la grasa contenida en la lana cruda.

Detergente: Sustancia o producto que extrae químicamente la suciedad contenida en un sustrato.

Enriar: Proceso de maceración en agua el lino, cáñamo o esparto.

Espesante: Sustancia o agente que aumenta el espesor de una disolución.

Estirado: Proceso de alargamiento o dilatación de un tejido, extendiéndolo con fuerza.

Eutrofización: Proceso de enriquecimiento del agua con nutrientes, especialmente compuestos de nitrógeno y fósforo, que aceleran el crecimiento de algas y formas superiores de vida vegetal.

Fuerzas Van der Waals: Atracción generada entre átomos cuando existe una nube compartida de electrones libres que circula de uno a otro redundando en una unión que, aunque débil y transitoria, los mantiene ligados.

Hilar: Transformar el lino, cáñamo, lana, seda, algodón, etc. en hilo.

Humectante: Sustancia que estabiliza el contenido de agua de un material.

Igualador: Sustancia que se añade a los baños, fundamentalmente para igualar tonalidades.

Insecticida: Producto químico, habitualmente tóxico, utilizado para combatir las plagas de insectos.

Lanolina: Sustancia análoga a las grasas que se extrae de la lana del cordero y se utiliza para la preparación de pomadas y cosméticos.

Madeja: Hilo recogido sobre un torno o aspadera, para que luego se pueda devanar fácilmente.

Materias en suspensión (MES): Parámetro que mide el contenido de una determinada muestra de agua en materiales sólidos en suspensión. Pueden ser fácilmente eliminados mediante procedimientos convencionales de filtrado.

Materias Inhibidoras (MI): Parámetro que mide la toxicidad de una muestra de agua, sea cual sea la causa de dicha toxicidad.

Mecha: Cuerda retorcida o cinta tejida hecha de filamentos.

Pastera: Recipiente en el que se prepara la pasta de estampación

Pesticida: Producto químico, habitualmente tóxico, utilizado para combatir las plagas que afectan a las plantas.

pH: Parámetro que mide la concentración de iones hidrógeno en una solución, expresada como el logaritmo del valor recíproco de la concentración de iones hidrógeno en gramos mol por litro (g/mol/l).

Polimerización: Reacción química generalmente asociada a la producción de sustancias plásticas, basada en la reacción de una molécula individual del producto (líquido o gas) con otra para producir una cadena larga. Estas cadenas se pueden formar para diferentes aplicaciones.

SAC: Coeficiente de absorción espectral.

Tensioactivos: Sustancias que disminuyen la tensión superficial de los líquidos, normalmente el agua.

Tintura: Proceso por el cual se aplica un color a un sustrato, encima del original.

Torsión: Proceso por el cual se tuerce un hilo en forma helicoidal.

Trenzar: Hacer un conjunto de tres o más ramales que se entretajan, cruzándolos alternativamente.

Ultrafiltración: Proceso de extracción de partículas coloidales y dispersas de un líquido, que consiste en hacerlo pasar a través de una membrana con un determinado diámetro de poro, y aplicando una alta presión.

Urdido: Proceso por el cual se preparan los hilos en la urdidera antes de pasarlos al telar.

Urdimbre: Conjunto de hilos que se colocan en el telar paralelamente unos a otros para formar una tela.



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

CENTRO DE PUBLICACIONES

ISBN 84-8320-282-4



9 784831 202821

P.V.P.: 11,00 €
(I.V.A. incluido)