

CUADRO 2.4.-27  
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA FABRICACION DE PERLON

	Cantidad mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	DQO mg/l
<u>Hilado en rejilla caliente</u>			
Lactama y oligómeros	763	870	1023
Preparaciones	669	543	1025
Sapal (sustancias tensoactivas)	25	1	31
<u>Hilado directo</u>			
Lactama y oligómeros	1737	1983	2328
Preparaciones	877	667	1298
Sapal (sustancias tensoactivas)	42	1	54

La síntesis del caucho a partir del isopreno produce aguas residuales que contienen isopreno y productos intermedios. Entre éstos, merecen atención los dioxanos y el alcohol dioxánico desde el punto de vista sanitario, dado que son tóxicos. La polimerización del butadieno para producir caucho sintético puede ser llevada a cabo según diferentes procesos. Los más frecuentemente usados son la polimerización por emulsión y polimerización por solución.

Con respecto a la tecnología de aguas residuales, cabe destacar el proceso disolvente, pues con él se producen sólo pequeñas descargas del butadieno y de disolventes usados en la planta de purificación; es decir, que sólo se generan aguas condensadas de vapor y aguas de refrigeración.

#### 2.4.2.5 Aguas residuales de curtiembres y plantas de producción de cuero

En la industria del cuero, la demanda específica de agua por unidad de producto terminado es muy elevada. Las curtiembres están entre las plantas industriales con uso intensivo de agua. La cantidad que utilicen depende sólo ligeramente del tipo de pieles y de los métodos mecánicos y químicos aplicados en el curtido. Los libros especializados señalan 100 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de piel a procesar. La demanda real de agua en las fábricas suele ser mayor y también incluye el agua que se emplea para limpiar las máquinas y los talleres, así como el agua de los servicios higiénicos y de otros usos.

Son muchos los procesos desarrollados para la fabricación de cuero, por lo que es necesario conocer exactamente los procesos que cada planta utiliza antes de proponer soluciones al problema de las aguas residuales.

#### 2.4.2.5.1 Aguas residuales de curtiembres

En las curtiembres, las pieles seleccionadas se convierten en cuero.

Las pieles que se preparan en las curtiembres tienen tres capas separadas: la epidermis (capa epidérmica externa), el cori6n (capa media de queratina que constituye la verdadera piel) y el subcutáneo (capa interna de carne que consiste de tejidos grasos). En la curtiembre, se eliminan las capas externa e interna para obtener la capa media de la que se elaborará el cuero. Esta capa, llamada también piel verdadera, consiste en proteínas, colágeno (aproximadamente 65%) y elastina.

El cuero es tratado en dos fases: un tratamiento preliminar en el taller de trabajo en agua o proceso de ribera, donde se preparan las pieles para el proceso real de curtido, y el tratamiento en las curtiembres propiamente dicho.

El tratamiento preliminar incluye:

- Remojo y lavado de las pieles, dado que éstas suelen contener mucha sal. En el caso de pieles secas, se añade al agua de remojo, soda cáustica, agentes humectantes o ácido láctico. Las aguas de lavado y ablandamiento son muy saladas y contienen residuos tales como sangre, estíercol, proteínas solubles (albúminas, globulinas) y otros contaminantes orgánicos.
- Encalado, en el cual se tratan las pieles con lechada de cal y se colocan en pilas que son reacomodadas periódicamente. Esto hace que la piel verdadera se desprenda de la capa superior e inferior, lo cual facilita el separarlas posteriormente en forma mecánica. En la fabricación de cuero curtido al cromo, se añade sulfuro de sodio o arsenito sódico. Después del encalado, las pieles se enjuagan con agua y luego se eliminan pelos y grasas.
- El desencalado y el hinchado tienen como fin remover la cal, parcialmente combinada con los ácidos grasos.

El curtido se realiza mediante diferentes procesos:

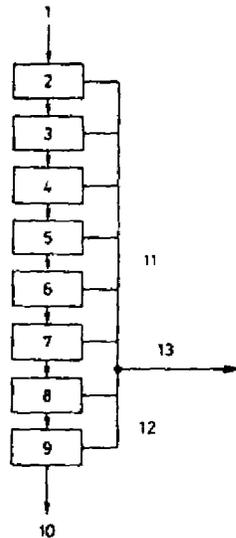
- Proceso de curtido vegetal: los agentes curtidores que se utilizan son principalmente el extracto de quebracho y la corteza de robles, abetos y otros árboles. Recientemente, se ha venido incrementando el uso de agentes artificiales de curtido. Los mismos se obtienen mediante la condensación de formaldehído con fenol, cresoles, antraceno y sus ácidos sulfónicos. El licor de sulfito residual proveniente de las fábricas de celulosa y la lignina obtenida de las mismas también se utilizan, de manera limitada, para diluir el licor de curtido.
- Curtido de foso ácido: antiguamente, era el único proceso de curtido que se utilizaba. Las pieles hinchadas se colocaban una sobre otra con la corteza molida y el foso se llenaba con agua.

Las pieles tenían que reacomodarse y el proceso se repetía varias veces, por lo que el curtido total tardaba a veces varios años. El curtido en foso (todavía muy utilizado en los países en vías de desarrollo) actualmente está siendo reemplazado en gran medida por el curtido rápido en tambores. Allí, las pieles no permanecen estáticas en los licores sino que se mueven constantemente. Para evitar la formación de moho, se añade con mucha frecuencia p-nitrofenol al licor de curtido como agente preservante. Los licores ya utilizados se descargan como aguas residuales.

- Curtido al cromo, utilizando sales crómicas: se realiza principalmente mediante el proceso de un solo baño. En el mismo, se utiliza una solución de alumbre de cromo mezclado con soda, cromato de aluminio u otras sales crómicas con la adición de sal común. Por lo general, la solución se neutraliza un poco con soda. El proceso de curtido toma entre 6 horas y 2 días. El exceso de sal y de soda se elimina del cuero por medio de un lavado después del curtido.
- Curtido agamuzado: este proceso, en el cual la piel se convierte en cuero al tratarla con aceites grasos, se utiliza para el tratamiento de pieles de ovejas y corderos y obtener así el denominado "cuero agamuzado".
- Procesos combinados: en estos procesos, se utilizan diferentes sales metálicas junto con agentes de curtido vegetales o sintéticos. Por ejemplo, después del curtido en cromo se suele aplicar un curtido vegetal. Existen plantas químicas que se especializan en producir programas completos de curtido con los productos químicos adecuados. Posteriormente, las mezclas de productos químicos para cada etapa del tratamiento se expanden bajo una marca pero sin detallar su composición. Esto no ayuda mucho al análisis y evaluación de las aguas residuales pertinentes ni a la toma de decisiones sobre su tratamiento.

En la Figura 2.4.-3 se muestra un diagrama de los procesos utilizados en una curtiembre y las fuentes de las aguas residuales (OMS/179f/).

El volumen de las aguas residuales en las curtiembres alcanza de 0,7 a 5,0 m<sup>3</sup> por cada piel grande, según el tamaño y el equipo de la planta, así como el tipo de proceso utilizado. En promedio, se utiliza de 1,0 a 1,5 m<sup>3</sup> de agua. En el procesamiento de pieles de res, SCHOLZ /107/ informa de un flujo de aguas residuales de 140 l/kg de cuero crudo (verde) para la fabricación de cuero al cromo superior, 80 l/kg para el cuero de suela y 90 l/kg para el cuero liso curtido, usando agentes vegetales.



- |                |                         |                                    |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1. Piel salada | 5. Eliminación de pelos | 9. Acabado                         |
| 2. Lavado      | 6. Foso de cal          | 10. Cuero                          |
| 3. Remojo      | 7. Desencalado          | 11. Residuos de los talleres       |
| 4. Encalado    | 8. Curtido              | 12. Residuos de la curtiembre      |
|                |                         | 13. Hacia la planta de tratamiento |

Figura 2.4.-3: Diagrama de los procesos usados en una curtiembre y las fuentes de aguas residuales /179f/

En una curtiembre que utiliza cromo y cortezas; los volúmenes de aguas residuales de los diferentes procesos son como sigue:

Remojo y lavado	22,5%
Encalado	17,5%
Enjuague	5,5%
Hinchado y remojo	19 %
Curtido al cromo	2 %
Curtido con cortezas	2 %
Lavado y tambor	31,5%

Pueden haber variaciones pronunciadas respecto a estas cifras según sea el método empleado en cada planta en donde se emplean métodos diferentes. Así, por ejemplo, el flujo diario de aguas residuales de una curtiembre, según el Department of the Interior de los Estados Unidos, está representado en el Cuadro 2.4.-28.

CUADRO 2.4.-28  
CAUDAL DIARIO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA CURTIEMBRE SEGUN  
EL DEPARTAMENTO DEL INTERIOR DE LOS ESTADOS UNIDOS, FEDERAL WATER  
POLLUTION CONTROL ADMINISTRATION /179f/

Principales Subprocesos	% de pieles tratadas	Flujo de aguas residuales de aproximadamente seis fábricas que procesan alrededor de 500 pieles por día			Aguas Residuales
		DBO <sub>5</sub>	Sólidos suspendidos	Total de sólidos	m <sup>3</sup> /día
Lavado y remojo corto	100	160	590	1360	360
Eliminación de pelos	40	320	790	790	170
Descarnado	60	540	1520	1810	250
Remojo	100	90	20	180	110
Curtido (agente vegetal) (cromo)	20	20	20	110	20
	80	50	70	290	60
Procesos finales	100	20	20	50	60
Totales		1200	3030	4770	1090

El flujo de las aguas residuales es irregular. Durante dos horas en la mañana existe normalmente un flujo pico que equivale a un 250% del promedio por hora. En este tiempo, los índices analíticos de los diferentes residuos también alcanzan sus valores más altos. Durante las otras horas del día, el caudal llega solamente a un 50% del promedio por hora.

En el Cuadro 2.4.-29 se indica el caudal de aguas residuales y la carga de DBO<sub>5</sub> para el caso de curtiembres /179f/.

Las aguas residuales de una curtiembre (incluida la preparación de las pieles) tienen un pH relativamente ácido, un alto contenido de cloruros (5 g Cl/l), un elevado consumo de KMnO<sub>4</sub> (750-1250 mg/l), una gran cantidad de sustancias sedimentables (10-12 ml/l) y contienen grasas emulsionadas; asimismo tienden a formar espuma.

El contenido de dicromato puede alcanzar valores pico de 2000 mg/l. WAGNER /107/ considera la población equivalente (PE) de las aguas residuales de curtiembres en 500 PE/t de pieles.

CUADRO 2.4.-29  
FLUJO DE AGUAS RESIDUALES Y CARGA DE DBO<sub>5</sub> EN UNA CURTIEMBRE /179f/

Tipo de aguas residuales	% del total de aguas residuales	% del total de carga de DBO <sub>5</sub>
<b>A. Residuos de la etapa de preparación</b>		
Lavado y remojo	7,5	4,2
Descarnado	5,6	4,9
Encalado	4,4	13,1
Eliminación de pelos y lavado	34,5	19,1
Lavado en recipientes	37,3	0,3
<b>B. Residuos de curtido</b>		
Curtido	6,1	46,3
Blanqueado y acabado	2,6	9,4
Residuos del lavado de pisos	2,0	2,5

Los residuos de las curtiembres pueden ser portadores del ántrax, siendo éste el factor decisivo al considerárseles desde el punto de vista de la higiene. Por lo tanto, no sólo son peligrosos para el personal de transporte y los operarios que entran en contacto con ellos, sino que también infectan las aguas residuales que se generan en las curtiembres y fábricas de cuero.

#### 2.4.2.5.2 Aguas residuales de plantas de producción de cuero

En las fábricas de cuero, el cuero curtido es preparado para su comercialización a través de procesos de acabado. Es probable que en los diferentes tipos de procesamiento algunos no produzcan aguas residuales. Si en las fábricas de cuero no se realiza el teñido, o sí, por ejemplo, no se procesan las grasas en el encolado, los residuos no serán particularmente dañinos. En las plantas donde el cuero es teñido después del acabado, se utilizan las siguientes sustancias: tintes ácidos, básicos y de anilina y, en raras oportunidades, tintes de sulfuro (para el cuero agamuzado) y tintes de madera, como el palo de Campeche, el pino gigante de California y el fustete (para cuero glaseado). Es así como se introducen en las aguas residuales

también los residuos de tintes, generalmente en pequeñas cantidades pues los tintes se aplican con escobillas. Al igual que existen licores de tinte, existen también aguas de enjuague en cantidades mucho mayores. Siendo el pH del agua de 5-7 y el consumo de  $\text{KMnO}_4$  es de aproximadamente 500 mg/l.

#### 2.4.2.6 Aguas residuales de la industria textil

En la elaboración de productos textiles se procesan fibras vegetales, animales-minerales y artificiales. Las materias primas más importantes son el cáñamo y el lino, la lana de oveja, el algodón, la seda natural, la seda artificial, la fibra de rayón, el asbesto y las fibras sintéticas. Las fibras textiles normalmente no se pueden usar en su forma original (natural o sintética). Primero tienen que ser acabadas en diferentes maneras, según sea el propósito al que se destinarán.

En general, existen dos tipos de fábricas textiles: aquéllas que producen materias primas y aquéllas que procesan dichas materias primas. Las primeras son las que procesan y producen materias primas naturales o sintéticas; entre ellas están las plantas de remojo de lino, plantas de limpieza de lana, plantas de blanqueado de algodón, plantas de cocción de seda y fábricas de rayón y seda artificial. Las plantas de procesamiento y acabado, que convierten los productos semiacabados en productos finales, comprenden las hilanderías y plantas de tejido, las plantas de blanqueo, las plantas de teñido, las plantas de acabado, las lavanderías y las fábricas de telas. Los diferentes procesos generan aguas residuales orgánicas e inorgánicas.

En estas plantas de procesamiento, un porcentaje importante de los constituyentes de las aguas residuales son sustancias orgánicas disueltas o, por ejemplo en el caso de la lana, sustancias orgánicas como grasas y suciedad. Por otro lado, los residuos de las plantas de acabado suelen contener sustancias que son tóxicas o que no se descomponen fácilmente. Así, por ejemplo, los residuos de viscosa pueden tener sulfuro de hidrógeno, disulfuro de carbono, ácidos minerales libres y sales de zinc.

En el Cuadro 2.4.-30, KEHREN /158/ presenta cantidades de aguas residuales en  $\text{m}^3$  por t de producto final, incluyendo las aguas de enjuague.

Las aguas residuales fluyen de las plantas de acabado textil en dos fases: del proceso de tratamiento y lavado (limpiado de lana, blanqueado de algodón, remojo de lino, desgome de la seda) y de los procesos de blanqueado y teñido.

CUADRO 2.4.-30  
CANTIDADES DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN M<sup>3</sup>  
POR T DE PRODUCTO /158/

Planta de limpieza de lana	20 - 70 m <sup>3</sup> /t de producto
Plantas de teñido	20 - 50 m <sup>3</sup> /t de producto
Plantas de blanqueado	50 - 100 m <sup>3</sup> /t de producto
Fábricas de telas	600 - 1000 m <sup>3</sup> /t de producto
Fábricas de viscosa, lana reprocesada o seda	50 - 100 m <sup>3</sup> /t de producto
Fábricas de fibra de rayón	350 - 1000 m <sup>3</sup> /t de producto

#### 2.4.2.6.1 Aguas residuales de las hilanderías

##### 2.4.2.6.1.1 Aguas residuales de las plantas de remojo de lino y cáñamo

Los tallos del lino y el cáñamo consisten de una epidermis (capa externa) que contiene las fibras, y un núcleo de madera, el cambium. Para liberar las fibras, debe descomponerse la unión entre las fibras y el núcleo de madera. Esta unión está formada por sustancias pécticas, es decir, mezclas de carbohidratos polimoleculares.

El remojo del lino y el cáñamo se lleva a cabo en dos etapas:

- En la primera etapa, se libera a las fibras del tallo mediante el "remojo".
- En la segunda etapa, el producto semiterminado pasa a ser lavado, centrifugado y secado para luego extraer las fibras de los tallos remojados.

Existe el remojo en tierra o de rocío y el proceso en húmedo.

El proceso en húmedo se realiza en plantas de gran escala empleando un método apropiado en remojo de tanque o de pedestal, o en remojadoras de canal o de corriente de agua.

Puede utilizarse un proceso aerobio o anaerobio. Los azúcares solubles, la materia colorante, así como los almidones, las proteínas y las resinas contenidos en las plantas pasan a la solución y de esa manera son eliminados.

Cuando se excluye el aire en una fermentación pectínica aerobia, se forman gases (dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, hidrógeno) y, según la edad y el tipo de los tallos, se producen cantidades variables de ácidos orgánicos volátiles; esta mezcla imprime al licor de remojo un olor característico. En este caso, la formación de ácidos en el licor de remojo aumenta a medida que progresa la fermentación; si el remojo se prolonga

demasiado, comienza la fermentación de la celulosa, la descomposición, etc., lo que ataca a las propias fibras.

En procesos modernos, cuando se suministra aire, la posible formación de ácidos dañinos disminuye o se evita totalmente mediante la reducción parcial de los ácidos orgánicos, a través de su oxidación a dióxido de carbono y agua.

Los aditivos químicos (carbonatos, bicarbonatos, carbonatos de calcio, etc.) que se utilizan para combinar los ácidos orgánicos en el remojo biológico, así como los procesos de desintegración puramente químicos que utilizan agua con ácido sulfúrico, supuestamente liberan las fibras con mayor rapidez, evitan olores desagradables y vuelven inofensivas a las aguas residuales. No se ha demostrado que, a la larga, estos aditivos sean realmente útiles (MEINCK /107/).

En el remojo por tanque o pedestal, donde no haya un caudal de ingreso de agua fresca, se requiere aproximadamente 20 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de paja de lino o de cáñamo.

En el remojo por canal, el agua pasa constantemente a través de varios canales ubicados uno junto al otro. Las estructuras de madera, que contienen el material en fardos, son accionadas contra la corriente mediante dispositivos de palancas. El agua se descarga al final de los canales y su volumen corresponde al flujo de entrada (entre 40 y 60 m<sup>3</sup> de agua/t de paja de lino).

Las aguas residuales consisten en este licor de remojo descargado, enriquecido con productos de descomposición, nitrógeno, ácido fosfórico, potasa, cal y otros compuestos afines que son arrastrados por el agua. Además, en ciertos períodos existen aguas de enjuague (del lavado de las plantas y la maquinaria) así como el agua de los servicios higiénicos.

Las aguas residuales de las modernas plantas de remojo son de una tonalidad entre amarillo claro y marrón oscuro; algo turbias debido a los coloides y tienen un olor, característico, ligeramente acre. Aquéllas que provienen del remojo por tanque, adquieren por lo general un nítido olor a sulfuro de hidrógeno tan pronto como se saca el lino. La temperatura de las aguas residuales (25-30°C) es casi la misma que la del proceso de remojo. Los residuos del remojo, tanto por tanque como por canal, suelen contener sólo una pequeña cantidad de sólidos suspendidos (mayormente por debajo de 100 mg/l), y éstos son principalmente de naturaleza orgánica. En el Cuadro 2.4.-31 se especifica mejor su composición.

Sin embargo, el grado de contaminación puede ser mayor. Una población equivalente para el remojo de lino es de 300 PE por 100 kg de paja de lino (WAGNER /107/).

Los ácidos orgánicos volátiles consisten casi exclusivamente en ácido acético y ácido butírico. Además, hay presencia de ácido fórmico, ácido propiónico y ácido valérico (Cuadro 2.4.-32). La proporción de estos componentes en relación a la cantidad total de ácidos orgánicos volátiles es (CARLSON y LUNDIN /107/):

CUADRO 2.4.-31  
PROPIEDADES DE LAS AGUAS DE REMOJO /107/

Total de residuos	1000 - 6500 mg/l
Consumo de $KMnO_4$	1000 - 6000 mg/l
Acidos orgánicos volátiles	1500 - 6000 mg/l
$DBO_5$	1300 - 3600 mg/l

CUADRO 2.4.-32  
ACIDOS ORGANICOS EN AGUAS DE REMOJO /107/

Acido fórmico	0,7%
Acido acético	61,2%
Acido propiónico	6,5%
Acido butírico	31,7%
Acido valérico	0,6%

En el Cuadro 2.4.-33 (MEYER /107/) se brinda información comparativa sobre la cantidad de nutrientes que contienen estas aguas residuales.

CUADRO 2.4.-33  
CANTIDAD DE NUTRIENTES EN LOS RESIDUOS DEL REMOJO DE LINO,  
EN COMPARACION CON AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS  
Y RESIDUOS DE FABRICAS DE ALMIDON /107/

Tipos de residuos	Total-N	$P_2O_5$	$K_2O$	CaO	$DBO_5$	N : $P_2O_5$ : $DBO_5$
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Aguas residuales domésticas	109	42	68	116	460	2,5 : 1 : 11
Aguas del remojo de lino	40	60	350	160	2500	0,7 : 1 : 42
Residuos de fábricas de almidón	319	175	604	-	3000	1,8 : 1 : 17

Como se muestra en el Cuadro 2.4.-34, los valores fluctúan considerablemente (STOOF /107/).

CUADRO 2.4.-34  
COMPOSICION DE LOS RESIDUOS DEL REMOJO DE LINO /107/

Total de sólidos suspendidos	7 - 159 mg/l
Residuos secos	1050 - 6571 mg/l
Pérdida de residuos secos a temperaturas de ignición	551 - 3465 mg/l
Nitrógeno total (N)	7 - 109 mg/l
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	3 - 19 mg/l
Fosfatos (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	5 - 235 mg/l
Potasa (K <sub>2</sub> O)	101 - 918 mg/l
Consumo de permanganato	1122 - 6045 mg/l

En muchas plantas de remojo, para obtener lino o cáñamo con características similares al algodón, el lino o cáñamo descortezado se convierte en hebras mediante un proceso seco (mecánico) continuando con un tratamiento químico.

Para ello existen dos procesos:

- El proceso KORTE: tratamiento preliminar de la hilaza verde con una solución de ácido clorhídrico diluido, desintegración con hipoclorito y ácido clorhídrico diluido, enjuague con agua fresca, remoción de los residuos de ácidos finales mediante un baño de soda, nuevo enjuague y hervido en lejía de soda diluida, varios enjuagues, lavado y glaseado.
- El proceso de lixiviación de BASTFASER A.G.: la hilaza verde se remoja en agua, se hierve sin presión en lejía de soda muy diluida, y se desintegra aplicando presión; los licores de desintegración se eliminan con baños de enjuague, el álcali remanente se neutraliza en un baño ácido, y se remueven los residuos ácidos en un baño de soda, lavado y glaseado.

El proceso KORTE genera residuos ácidos y el proceso de lixiviación genera residuos alcalinos. Los residuos difieren también en la cantidad de sales inorgánicas que contienen.

2.4.2.6.1.2 Aguas residuales de la cocción de seda

La seda natural se obtiene de los hilos con los que el gusano de seda fabrica sus capullos.

La fibra natural se compone de dos fibras cubiertas de goma.

Las sustancias que constituyen la fibra (fibroina) y la goma de la seda (sericina) se eliminan mediante hervido (limpiado o desgomado). Además de proteínas, la fibra en bruto contiene sustancias solubles en éter y etanol, y otras sales.

El procesamiento de los capullos consiste en la eliminación de polvo, lavado en agua, tratamiento con vapor directo y, finalmente en el devanado.

La seda cruda, así obtenida, pasa a ser hervida en una solución jabonosa para liberarla de la goma de seda y de sus colorantes naturales. Luego del baño de jabón se aplican baños de enjuague, primero con agua de soda tibia y finalmente con agua fría. Cada 7-9 kg de capullos cocidos (es decir, eliminados mediante el tratamiento con vapor) producen 1 kg de seda cruda. El consumo total de una planta de hervido de seda depende de cuán completamente se enjuague la seda; puede llegar a 70 m<sup>3</sup> por t de seda cruda.

Las aguas residuales totales de una planta de cocción de seda están compuestas por un licor marrón oscuro, altamente concentrado y putrescible. Los principales contaminantes son: jabón, detergentes, goma de seda proveniente de los capullos, gusanos de seda muertos, capullos dañados y el colorante natural de los hilos de seda.

En el Cuadro 2.4.-35 se muestra la composición de las aguas residuales.

CUADRO 2.4.-35  
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE COCCION DE SEDA /107/

Total de residuos	3100 - 4300 mg/l
Cantidad de residuos perdidos a temperatura de ignición	1960 - 3200 mg/l
Sólidos suspendidos	132 - 520 mg/l
DBO <sub>5</sub>	820 - 985 mg/l

La población equivalente de las plantas de cocción de seda es de aproximadamente 100 PE por kg de seda.

2.4.2.6.1.3 Aguas residuales de la fabricación de seda artificial y fibras de rayón

Las fibras que se producen químicamente para la industria textil se dividen en dos grupos:

- Fibras de polímeros naturales
- Fibras de polímeros sintéticos

Las fibras (elaboradas químicamente) de uso más común son:

- Fibras de polímeros naturales (fibras semisintéticas)
- Fibras regeneradas de celulosa: Lana de viscosa  
Seda de viscosa  
Seda de viscosa de super cordel  
Rayón cuproamónico
- Fibras de éster celulósico: rayón de acetato
- Fibras de polímeros sintéticos (Fibras sintéticas) - véase la Sección 2.4.2.2.3
- Fibras de poliamidas
- Fibras de cloruro de polivinilo
- Fibras de poliacrilonitrilos
- Fibras de poliéster

La principal materia prima que se utiliza en la fabricación de fibras artificiales (fibras químicas), seda artificial y fibras de rayón, es la celulosa de sulfito, la cual se procesa de diferentes maneras. El proceso que se usa principalmente es el de la viscosa.

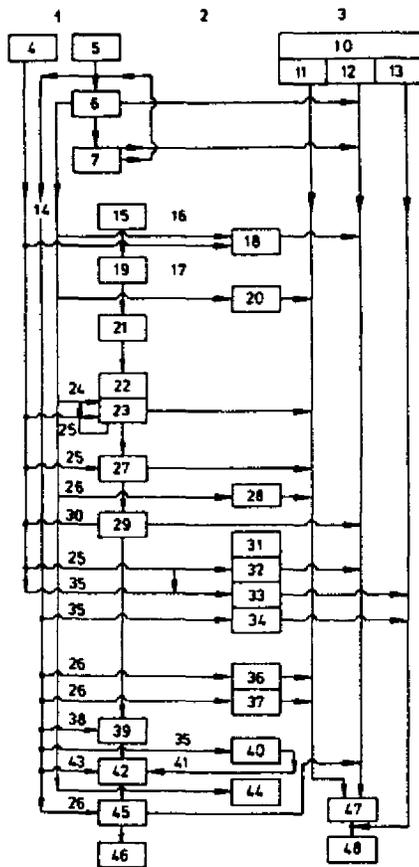
Cuando se usan borras de algodón en rama como materia prima, es necesario tratarlas antes hirviéndolas con lejía de soda (aproximadamente al 4%) para eliminar los contaminantes vegetales, tales como cera, pectinas, azúcar, etc. (MEINCK /107/). Luego, las borras son enjuagadas sólo con agua, para eliminar los restos de lejía. Para esto se requiere una cantidad de agua 10 a 20 veces mayor. La concentración promedio de soda cáustica en las aguas residuales totales que provienen del proceso de enlejiado es del orden de 2 a 4 g/l. La mezcla de lejía y agua de enjuague, usadas, se halla fuertemente contaminada por materia orgánica; tiene un consumo de  $KMnO_4$  de 9.000 mg/l y una  $DBO_5$  de 1.500-2.000 mg/l. La cantidad de aguas residuales provenientes del enlejiado es aproximadamente de 50 m<sup>3</sup> por tonelada de fibra.

En el proceso de lixiviación de celulosa para obtener viscosa, en el cual se ponen en solución la hemicelulosa y otras sustancias acompañantes, la celulosa se transforma en un compuesto celulósico en solución, el cual se transforma en xantogenato sódico de celulosa después de la descomposición controlada de las macromoléculas con disulfuro de carbono. El xantogenato se disuelve con lejía de soda para obtener la viscosa, la que posteriormente pasa a ser filtrada y desgasificada para luego ser conducida por toberas de hilado hacia un baño de coagulación. Cuando sale del baño de coagulación, la fibra hinchada es estirada y enjuagada varias veces para eliminar el licor del baño de coagulación que aún se encuentre adherido. En este proceso, hay escape de disulfuro de carbono que luego es recuperado. Más adelante, la fibra se trata con álcali para eliminar el sulfuro remanente. La Figura 2.4.-4 muestra un diagrama de la producción y del sistema de agua en una planta de fabricación de rayón (MANGOLD /104/). La manufactura de 1 t de seda a la viscosa o rayón requiere las materias primas señaladas en el Cuadro 2.4.-36.

CUADRO 2.4.-36  
MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACION DE 1 T DE SEDA  
A LA VISCOSA O RAYON /104/

Materias primas, en t	Seda artificial	Fibra de rayón
Soda de celulosa	1,03 - 1,06	0,99 - 1,02
Soda cáustica (NaOH)	0,77 - 0,91	0,72 - 0,82
Acido sulfúrico anhidro (SO <sub>3</sub> )	1,02 - 1,10	0,80 - 1,00
Disulfuro de carbono	0,20 - 0,33	0,15 - 0,23

Existe una cantidad significativa de aguas residuales. Las mismas están compuestas por aguas de refrigeración, baños ácidos y lejías, gastados, aguas de lavado y enjuague provenientes del filtro del baño de coagulación, con hemicelulosa, componentes de viscosa y fibras, así como aguas de purificación. Cuando el agua de refrigeración se reutiliza en gran medida, la cantidad total de aguas residuales es generalmente de unos 300 a 600 m<sup>3</sup> por tonelada de fibra (de rayón); cuando sólo se fabrica seda artificial, la cantidad puede alcanzar niveles próximos a los 1.000 m<sup>3</sup>/t de fibra o incluso más.



- |                                |  |                                    |
|--------------------------------|--|------------------------------------|
| 1. Abastecimiento de agua      | 18. Estación de lejía                          | 34. Bombeado                       |
| 2. Uso del agua                | 19. Estación de inmersión                      | 35. Agua de refrigeración          |
| 3. Drenaje de aguas residuales | 20. Diálisis                                   | 36. Estación de velas              |
| 4. Agua de río                 | 21. Máquinas de moler, tolva de envejecimiento | 37. Estación de separador a chorro |
| 5. Agua previamente tratada    | 22. Sulfidización                              | 38. Agua adicional                 |
| 6. Planta de lavado con agua   | 23. Disolución                                 | 39. Expulsor de $CS_2$             |
| 7. Unidad de potencia auxiliar | 24. Agua de disolución                         | 40. Recuperación de $CS_2$         |
| 8. Enjuague de filtros         | 25. Agua de enjuague                           | 41. Agua de depósito               |
| 9. Agua lodosa de la cocción   | 26. Agua de lavado                             | 42. Torre de corte                 |
| 10. Aguas residuales           | 27. Filtración                                 | 43. Agua de corte                  |
| 11. Carga de celulosa          | 28. Lavado de la tela del filtro               | 44. Estación de baños              |
| 12. Otras cargas               | 29. Hilado                                     | 45. Tratamiento final              |
| 13. Sin carga                  | 30. Agua del conducto                          | 46. Secado - empaquetado           |
| 14. Uso                        | 31. Estación de baños de coagulación           | 47. Planta de purificación         |
| 15. Depósito de celulosa       | 32. Filtro del recipiente                      | 48. Agua receptora                 |
| 16. Para ajuste de la lejía    | 33. Empaquetado                                |                                    |
| 17. Limpieza del suelo         |  |                                    |

Figura 2.4.-4: Diagrama de producción y del sistema de aguas residuales en una planta de fibra de rayón /104/

En casos específicos, puede haber diferencias considerables en el consumo de agua. La mayoría de los diferentes residuos de la viscosa muestran una clara reacción ácida, mientras que una pequeña parte muestra una reacción alcalina. La reacción ácida predomina en la mezcla. El efluente normalmente huele a sulfuro de hidrógeno y disulfuro de carbono, los cuales pueden estar presentes en cantidades que van desde unos cuantos miligramos hasta más de 100 mg/l. La cantidad total de sólidos suspendidos (principalmente orgánicos) puede ser menor que 100 mg/l, pero también puede ser considerablemente mayor e incluso llegar a 1 g/l.

En la fabricación de seda artificial o de fibra de rayón, mediante el proceso con cuproamonio, la disolución de la celulosa (que puede refinarse previamente con lejía de soda) se obtiene con la acción de una mezcla de sulfato de cobre básico (20%) y amoníaco (25%). Después de agregar los compuestos hidroxil orgánicos (ácido tartárico, azúcares), esta solución pasa a ser filtrada y desaerada bajo presión y luego se le conduce a través de toberas anchas de hilado hacia baños de coagulación lenta (primero agua tibia, ablandada, desaerada, luego ácido sulfúrico diluido). El estirado posterior produce hebras finas, las que son endurecidas y liberadas del cobre utilizando ácido sulfúrico diluido; luego se les trata con una solución de soda débil, se enjuagan varias veces con agua fría, se les aplica un baño jabonoso y luego se secan. Los residuos líquidos están compuestos por los precipitadores usados, que contienen cobre, las aguas de lavado y enjuague, la solución jabonosa utilizada y aguas residuales que contienen residuos de amoníaco arrastrados por el agua de hilado. El consumo de agua es de aproximadamente 1.300 m<sup>3</sup>/t de fibra.

Los residuos contienen las sustancias especificadas en el Cuadro 2.4.-37 (GERSTNER /107/).

CUADRO 2.4.-37  
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA FABRICACION  
DE SEDA ARTIFICIAL /107/

	Acido residual del hilado	Agua residual del hilado
Cobre (Cu), mg/l	8 000 - 16 000	80 - 200
Acido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), mg/l	12 000 - 65 000	750 - 1 200
Amoníaco (NH <sub>3</sub> ), mg/l	-	sobre 800
pH	-	10

En el proceso con acetilcelulosa, la celulosa es transformada en triacetato de celulosa mediante la acción de ácido acético anhidro o ácido acético glacial, en presencia de catalizadores como el ácido sulfúrico, ácido perclórico,

cloruro de zinc, etc. El triacetato es lavado, disuelto en acetona e hilado en seco, utilizando aire caliente. Los ácidos inorgánicos libres, el cloruro de zinc, etc., son drenados como residuos por las aguas de lavado, mientras que los productos químicos orgánicos valiosos (acetona, ácido acético, alcohol) son recuperados en su mayoría. La cantidad de aguas residuales es menor que en otros procesos utilizados para la fabricación de seda artificial; llega a unos 10 a 15 m<sup>3</sup> de aguas residuales por t de triacetato. Los residuos son marcadamente ácidos, con pocos sólidos suspendidos (menos de 100 mg/l) pero con muchos constituyentes disueltos.

#### 2.4.2.6.2 Aguas residuales del blanqueo del algodón

El algodón es una fibra vegetal muy económica que contiene principalmente celulosa. Antes de usar la fibra, es necesario eliminar los constituyentes no celulósicos. Normalmente se obtienen las fibras de algodón mediante procesos secos; allí no hay aguas residuales.

El algodón, y sobre todo los hilos y las telas con él confeccionados, se hierven primero en soluciones fuertemente alcalinas, compuestas de soda e hidróxido de sodio. Esto elimina las pectinas que contiene el algodón. Al proceso le sigue el blanqueo con soluciones diluidas de cloruro de calcio u otras preparaciones de cloro, para después pasar al tratamiento con ácidos diluidos. Después de cada proceso, los materiales tratados se enjuagan con abundante agua.

KNIESEL /158/ estima la cantidad de aguas residuales en las plantas de blanqueo de algodón en aproximadamente 50-100 m<sup>3</sup> de agua por t de producto, con una población equivalente de 250 a 300 PE por t de producto; asimismo, considera los siguientes tipos de aguas residuales:

- Baños de reducción de tamaño,
- Soluciones de cocción (alcalinas),
- Soluciones de cloro usadas (alcalinas),
- Soluciones ácidas usadas (ácidas),
- Soluciones de mercerizado usadas (alcalinas),
- Aguas de enjuague de cada etapa del tratamiento.

La cantidad total de contaminantes contenidos en los residuos del blanqueo del algodón es de 196,6 kg por t de material (GEYER /107/). Aproximadamente un 50% del total de contaminantes orgánicos provienen de los baños de reducción de tamaño y las soluciones de hervido.

#### 2.4.2.6.3 Aguas residuales del lavado de lana

La lana ingresa a las fábricas textiles sucia o parcialmente limpia. Las sustancias que se indican en el Cuadro 2.4.-38 fueron encontradas por SCHULE, MAERKER, KRÜGER /158/.

CUADRO 2.4.-38  
SUSTANCIAS ENCONTRADAS EN LA LANA DE OVEJA /158/

	SCHULE y MAERKER	ULRICH G. KRÜGER
Agua	10 - 23%	2 - 24%
Grasas de lana	7 - 14%	12 - 47%
Sudor de la oveja depositado en la lana ( <u>suint</u> )	20 - 22%	3 - 24%
Suciedad	2 - 23%	-
Fibra de lana pura	20 - 50%	15 - 72%

Para eliminar los contaminantes adheridos a la lana (sudor, grasas de lana, contaminantes vegetales, polvo y excremento), normalmente se suele limpiar superficialmente al animal antes de trasquilarlo. Posteriormente, la lana se lava con profusión en máquinas lavadoras de lana.

En los procesos de lavado de lana se utilizan, por lo general, entre 4 y 6 palanganas de lavado sucesivas. Esto permite tratar las aguas residuales en forma separada.

El proceso de lavado genera aguas de enjuague y lavado altamente concentradas, las que, además de lana, contienen sustancias que llegan a un 25-60% o más del peso de la lana sin procesar (de acuerdo al origen de la lana cruda, el grado de limpieza de la oveja antes del trasquilado, etc.). Estas sustancias ajenas a la lana consisten en grasas, sudor, sólidos orgánicos e inorgánicos, ya sea en forma suspendida, coloidal o emulsionada. Además, hay que agregar los detergentes, como soda y jabón, y también aceites utilizados para ablandar la lana, los que son eliminados con un nuevo enjuague al final del proceso de lavado.

Suelen producirse hasta unos 100 m<sup>3</sup> de aguas residuales por 1 t de lana y su composición puede variar considerablemente, según la cantidad de agua que se haya utilizado, como puede apreciarse en el Cuadro 2.4.-39 (FABER /107/).

CUADRO 2.4.-39  
COMPOSICION DEL AGUA DE LAVADO DE LANA /107/

		Máximo	Mínimo	Promedio
Grasas	mg/l	25 800	3 000	8 650
Sólidos suspendidos	mg/l	30 300	2 400	11 520
Alcalinidad	mg/l	29 400	3 430	6 780
Consumo de permanganato 4 horas a 28°C		7 400	398	1 830
DBO <sub>5</sub>	mg/l	22 000	1 200	5 500

En las aguas residuales se eliminan entre 350 a 400 kg de contaminantes totales por cada tonelada de producto (de éstos, hasta 200 kg son sustancias orgánicas).

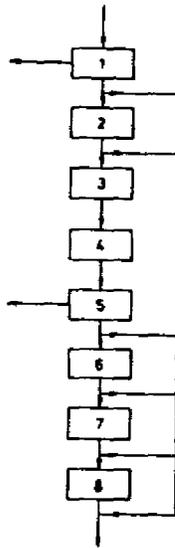
#### 2.4.2.6.4 Aguas residuales de la producción de telas

En las fábricas de telas, el tejido fibroso se convierte en tela a través del abatanado de soluciones alcalinas débiles. En este proceso se eliminan las hilachas y las hebras sueltas mediante procesos mecánicos y luego son arrastradas por el agua de enjuague. Antes del abatanado se remueven las sustancias extrañas, tales como partículas de madera, paja, hebras, etc.

Cuando se drenan las aguas residuales que contienen materiales fibrosos, las fibras se depositan en los costados de los canales, diques y ríos y forman montículos y capas de fieltro. Después de algún tiempo, dependiendo de la estación, comienzan a descomponerse y generalmente provocan olores muy desagradables.

En las plantas de teñido, primero se lavan los materiales con soluciones jabonosas o agentes humectantes, para que así los tintes penetren más fácilmente y en forma pareja. Esto genera aguas con residuos de las soluciones de lavado y aguas de enjuague. Además, siempre es necesario decolorar o blanquear el material para obtener tonalidades tenues.

En general, se utiliza sulfuro, anilina, azo y otros tintes. Se generan aguas residuales de la preparación de la tela, de la aplicación de tintes, de la remoción de los tintes utilizados y del enjuague de las cubas, la maquinaria y la planta.



- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. Limpieza                   | 5. Lavado           |
| 2. Teñido de la materia prima | 6. Carbonización    |
| 3. Peinado                    | 7. Teñido de partes |
| 4. Hilado                     | 8. Blanqueo         |

Figura 2.4.-5: Diagrama de flujo de una planta de limpieza de lana

El Cuadro 2.4.-41 muestra la composición de residuos textiles (JUNG /158/). Sin embargo, la cantidad y composición de los mismos difiere de una planta a otra. También es posible evaluar la característica fluctuante de la calidad de los residuos textiles a partir de los valores máximos y mínimos de una planta textil (aproximadamente 70% de algodón y 30% de lana), como se muestra en el Cuadro 2.4.-40 (KEHREN /158/).

CUADRO 2.4.-40  
VALORES MAXIMOS Y MINIMOS PARA LA CALIDAD DE AGUAS  
RESIDUALES DE UNA PLANTA TEXTIL /158/

	Mínimo	Máximo
Temperatura	10°C	30°C
pH	7,6	11,5
Transparencia	cm	17
Sólidos suspendidos	mg/l	2713
Sólidos suspendidos perdidos en la ignición	mg/l	1374
Residuos secos	mg/l	4376
Residuos (fijos)	mg/l	3886
Lejía de soda	mg/l	896
Consumo de oxígeno	mg/l	603
Total de sulfato	mg/l	979
Sulfuro de hidrógeno	mg/l*	30

\* Encontrado en ocho muestras

CUADRO 2.4.-41  
COMPOSICION DE LOS RESIDUOS TEXTILES /158/

Tipo de planta	Teñido	Teñido	Blanqueo y teñido
Material procesado	Lana	Algodón	Algodón
Apariencia	rojiza turbia	azul oscuro opaca turbia	marrón opaca turbia
pH	6,8	9,1	11,5
Residuos secos (filtrados)	2068 mg/l	1240 mg/l	2327 mg/l
orgánicos	460 mg/l	437 mg/l	838 mg/l
inorgánicos	1608 mg/l	803 mg/l	1489 mg/l
Consumo de permanganato	312 mg/l	733 mg/l	534 mg/l
DBO <sub>5</sub>	93 mg/l	188 mg/l	255 mg/l
Cloruros (Cl)	114 mg/l	118 mg/l	255 mg/l
Nitrógeno orgánico	4 mg/l	16 mg/l	22 mg/l
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	6 mg/l	trazas	trazas

En el Cuadro 2.4.-42 (KUISEL /158/) puede verse la población equivalente para una planta de teñido de algodón.

CUADRO 2.4.-42  
CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES Y POBLACION EQUIVALENTE  
DE UNA PLANTA DE TEÑIDO DE ALCODON /158/

	Cantidad de aguas residuales en m <sup>3</sup> por t de producto	Población equivalente por t de producto
Tintes directos	aproximadamente 70	160
Tintes de sulfuro	aproximadamente 60	700
Indigo	aproximadamente 100	60

En las plantas de estampado de telas, los tintes se aplican mediante presión sólo sobre ciertas áreas. Los agentes espesadores que se emplean para las pastas de tintes son almidones de diferentes orígenes, dextrina, alginatos, tragacanto y otras gomas naturales, también albúmina, caseína y, en muchos casos, acetilcelulosa. Aparte de los pigmentos y los agentes espesadores, los tintes de estampado contienen otros aditivos necesarios para fijar el pigmento, como tanino, ácido acético, sales metálicas, agentes reductores, álcali, etc. Luego del estampado se aplican baños jabonosos y de enjuague.

Las aguas residuales contienen restos de pigmentos y de sustancias químicas antes mencionadas o sus productos de conversión. Por lo tanto, son similares a las aguas residuales de las plantas de teñido.

Las plantas de acabado permiten dar firmeza, densidad y peso a las telas matizadas de algodón y de seda artificial, así como una apariencia más atractiva. Se suele utilizar como agentes de acabado: almidones, dextrina, goma, cera, arcilla o caolín, espato pesado y, más recientemente, resinas sintéticas. Estas sustancias se aplican a los materiales en forma de pasta. Se generan aguas residuales de la limpieza de los talleres, recipientes y aparatos. Las mismas contienen diferentes cantidades de los agentes de acabado, en solución o suspensión coloidal.

#### 2.4.2.7 Aguas residuales de las plantas de procesamiento de madera, pulpa, papel y cartón

La industria del papel comprende a aquella dedicada a los productos intermedios (como la industria de la celulosa) y a aquella donde efectivamente se fabrica papel a partir de estos productos.

En todos estos procesos de fabricación existen productos residuales que deberían ser recuperados o reutilizados.

En la elaboración de productos intermedios existen diferentes tipos de aguas residuales según los procesos que hayan sido empleados; por ejemplo, de plantas de pulpa mecánica blanca y marrón, de fábricas de celulosa de sulfito, de fábricas de celulosa de soda y de sulfato, de plantas de carbonización de trapos, de fábricas de cartón y de paja y de la producción de papel propiamente dicha.

En los últimos años se han logrado progresos considerables con respecto al menor consumo de agua dulce en las plantas de papel, permitiendo reducirse en aproximadamente 50-80%. También se ha logrado reducir el consumo de agua dulce mediante el uso de turbosopladores.

Además de esta economía en el uso de agua dulce, también ha sido posible reducir considerablemente el consumo de agua, haciendo ingresar las aguas residuales a un sistema de recirculación. Mientras que la demanda de agua de una máquina de fabricación de papel - sin reutilización de aguas residuales - es de unos 600 l/kg de papel, es posible mediante la reutilización de las aguas residuales, reducir esta demanda hasta unos 300 l/kg de papel o, en casos extremos, aun a 10 l/kg de papel.

#### 2.4.2.7.1 Aguas residuales del procesamiento de madera y de plantas de pulpa de madera con procedimientos mecánicos

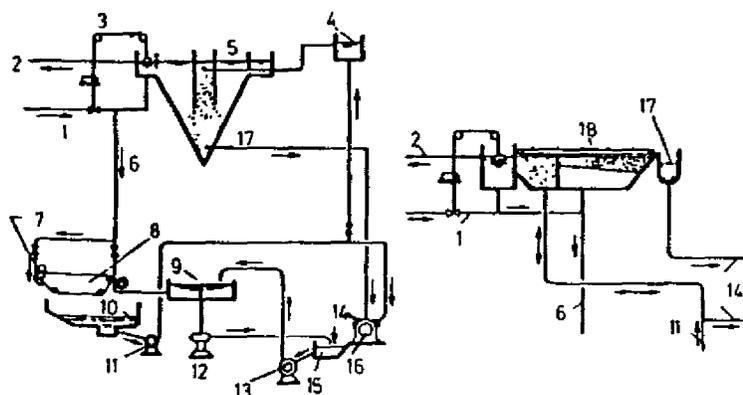
La madera contiene muchas sustancias de valor que podrían utilizarse. Durante su procesamiento aparece una madera finamente molida que forma aserrín. Actualmente se dan usos diferentes a los productos residuales, como madera y resina, lo cual evita que el agua receptora tenga un nivel muy elevado de contaminación orgánica. En el Cuadro 2.4.-43 (SIERP y WAGNER /158/), se muestran la cantidad de agua y las poblaciones equivalentes en el procesamiento de madera.

CUADRO 2.4.-43  
CANTIDAD DE AGUAS RESIDUALES Y POBLACIONES EQUIVALENTES  
PARA EL PROCESAMIENTO DE MADERA /158/

	Cantidad de aguas residuales en m <sup>3</sup> /t de producto (SIERP)	Población equivalente	
		Para 1 t de producto (SIERP)	Para 1 t de madera (WAGNER)
Pulpa blanca (proceso mecánico)	160 - 300	600 - 2000	100
Pulpa marrón (proceso mecánico)	175 - 200	1200 - 6000	300
Fábricas de papel	85 - 150	200 - 1150	-

En las plantas donde se procesa la pulpa, mecánicamente, la madera de corteza es molida en grandes piedras de amolar, utilizando abundantes cantidades de agua de enjuague. Luego, la pulpa fina de madera molida se pasa a través de filtros especiales de vacío, y entonces se le utiliza para fabricar fibras de celulosa o como material de relleno en la fabricación de papeles de calidad inferior. Dado que los filtros no consiguen una separación suficientemente fina, importantes cantidades de material utilizable son arrastradas por el agua, contaminando el cuerpo receptor.

En las plantas mecánicas de pulpa blanca se procesan, precisamente, maderas blancas (como el abeto) de las cuales se obtienen, sin mayor preparación, unas sustancias fibrosas. En las plantas bien administradas, el ciclo de agua es tan cerrado que no existen aguas residuales, o éstas son muy pocas. La Figura 2.4.-6 muestra un diagrama de la administración de agua en una planta mecánica de pulpa blanca, con los diferentes ciclos de las aguas residuales (SIERP /158/).



- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Agua dulce                      | 10. Filtro                         |
| 2. Hacia la planta de purificación | 11. Bomba de aguas residuales      |
| 3. Válvula de flotación            | 12. Refinador                      |
| 4. Depósito de compensación        | 13. Bomba de materiales            |
| 5. Trampa para sedimentos          | 14. Moledora                       |
| 6. Agua salpicada                  | 15. Trampa de astillas             |
| 7. Descarga del material           | 16. Materias primas                |
| 8. Máquina drenadora               | 17. Residuos concentrados          |
| 9. Clasificador                    | 18. Vaso de seguridad de flotación |

Figura 2.4.-6: Diagrama de administración de agua en una planta mecánica de pulpa blanca /158/

Para la pulpa marrón, que puede obtenerse de maderas como la del abeto y el pino, los troncos de los árboles son expuestos al vapor en cámaras específicas a  $6 \times 10^5$  Pa y  $170^\circ\text{C}$ . Esto elimina la mayor parte de sustancias resinosas y le imprime al material un color marrón, pero lo importante es que se obtienen fibras más largas. La pulpa marrón se utiliza principalmente para papel de empaquetar y cartón.

Los residuos de las plantas donde se muele la madera, contienen una gran cantidad de partículas finas de fibra de madera y, entre otras cosas, resinas, pentosa, huminas, vanillina, metanol, ácido acético y ácido fórmico.

El Cuadro 2.4.-44 muestra la calidad de los residuos provenientes de plantas mecánicas de pulpa blanca y marrón (MEINCK /107/).

CUADRO 2.4.-44  
CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE PLANTAS MECANICAS  
DE PULPA BLANCA Y MARRON /107/

Calidad	Aguas residuales provenientes de	
	Plantas mecánicas de pulpa blanca	Plantas mecánicas de pulpa marrón
Reacción	neutra	débilmente ácida
Color	inoloro	marrón
Olor	débilmente resinoso	fuertemente resinoso
Consumo de $\text{KMnO}_4$ , mg/l	64	841

La madera está compuesta de un 50% de fibras valiosas y un 50% de incrustaciones. En el cuadro 2.4.-45 se presenta la composición de las materias primas más importantes en maderas y paja (MEINCK /107/).

CUADRO 2.4.-45  
COMPOSICION DE LAS MATERIAS PRIMAS MAS IMPORTANTES  
PARA LA PRODUCCION DE CELULOSA /107/

	Abeto	Pino	Haya	Paja
Celulosa, %	57,84	54,25	53,46	35 - 45
Lignina, %	28,29	26,35	22,46	25
Pentosanas, %	11,30	11,02	24,86	25
Resina, grasa, cera, %	2,30	3,45	1,78	-
Cenizas, %	0,77	0,39	1,17	1 - 6

Esta información está referida a los climas templados de las regiones de Europa y los Estados Unidos; las maderas de abeto, pino y haya se utilizan para obtener celulosa de sulfito. En los países en vías de desarrollo se procesan, además de estas maderas, las de eucalipto, cedro así como el espasto.

#### 2.4.2.7.2 Aguas residuales de las fábricas de celulosa

La celulosa es una fibra de madera liberada que consiste tanto en carbohidratos de celulosa, además de cantidades variables de otros carbohidratos fácilmente solubles e hidrolizables. A éstos se les conoce como "hemicelulosa", "polisacarosa de madera" o "goma de madera".

Los trozos de madera se hierven con un reactivo adecuado para sacar las incrustaciones de la madera (como lignina, etc.) sin dañar las fibras.

Para este propósito, se utilizan dos procesos:

- el proceso con ácido o sulfito
- el proceso con soda alcalina o sulfato.

##### 2.4.2.7.2.1 Aguas residuales de las fábricas de celulosa de sulfito

El proceso con sulfito se utiliza para maderas con poca resina y también cuando se desea obtener una celulosa de color claro, especialmente si la celulosa no va a ser blanqueada. Este proceso se usa casi en forma exclusiva para la fabricación de viscosa.

Para fabricar celulosa de sulfito, la pulpa de madera se hierve a presión en grandes digestores de hierro con sulfito de calcio, sulfito de amonio, sulfito de magnesio o sulfito sódico. Durante este proceso se forman condensados que contienen valiosa materia prima. Así, en el proceso suizo de ATTISHOLZ, se recuperaron las siguientes materias primas en el transcurso de un año:

SO <sub>2</sub> (100%)	1.500 t
Metanol (alcohol de madera)	150.000 t
Cimeno	8.000 l
Fufural	30.000 l

Para 210 kg de astillas de madera, se necesitan 1000 litros de solución de sulfito.

En un proceso de hervido de 8 a 24 horas, la solución de sulfito disuelve alrededor de un 50 a 55% de los constituyentes de la madera. Una vez completada la extracción, se drena la solución de hervido utilizada (la denominada "solución original"). Sin embargo, una cantidad residual de la solución permanece en la fibra y luego se elimina con grandes cantidades de agua de enjuague (30 a 40 veces la cantidad de la solución de hervido). Posteriormente, a través de diferentes procesos, la celulosa lavada pasa a ser convertida en papel, fibra de rayón o seda artificial en las plantas respectivas.



Las aguas residuales de lavado son similares al licor de sulfito, sólo que están diluidas de 50 a 100 veces. En las fábricas europeas de celulosa de sulfito, la población equivalente llega a 5000 PE y hasta más; con un promedio de 3500 PE por tonelada de celulosa producida de madera de abeto.

Al diseñar los sistemas de alcantarillado dentro de la planta, debe observarse una estricta separación entre los diferentes tipos de aguas residuales.

#### 2.4.2.7.2.2 Aguas residuales de fábricas de celulosa de sulfato

El proceso de fabricación de celulosa de sulfato permite procesar también maderas con alto contenido de resina, especialmente la de pino. Este proceso se utiliza en la fabricación de papel muy resistente, como papel aislante, papel para bolsas, papel para embalaje, etc.

El tratamiento preliminar de la madera es el mismo que en el proceso con sulfito. La desintegración de la madera se obtiene con el empleo de soda cáustica y sulfato sódico añadido (1/3 de la soda cáustica), lo que produce celulosa kraft o de sulfato. El proceso de cocción con sulfato hace más fácil disolver la lignina y removerla de la madera, obteniéndose una producción mayor y de mejor calidad. El procesamiento posterior de la celulosa es igual al que se usa en las fábricas de celulosa de sulfito.

En el proceso de sulfato existen los siguientes residuos: condensados de los digestores (135 l/t de celulosa), condensados de las cubas de hervido y de los difusores (270 l/t de celulosa), aguas de enjuague provenientes de los difusores que dependen en gran medida del efecto de arrastre del agua y condensados de vapor provenientes de la evaporación del licor negro (13 a 15 m<sup>3</sup>/t de celulosa).

#### 2.4.2.7.3 Aguas residuales de las fábricas de celulosa de paja

La paja es un elemento que suele usarse como materia prima en la producción de celulosa. Sin embargo, para obtener 1 t de celulosa tiene que procesarse alrededor de 4.4 t de paja picada. La paja se cuece con soda cáustica, de la cual se necesita unos 0,65 t por t de celulosa. Durante este proceso, el licor de cocción absorbe 3,4 t de constituyentes de la paja por cada t de celulosa; estos componentes son principalmente orgánicos y están distribuidos en unos 11,4 m<sup>3</sup>.

#### 2.4.2.7.4 Aguas residuales de las fábricas de papel

Para la producción de papel se necesitan diferentes materias primas como:

- papeles y cartones de la celulosa, con o sin pulpa mecánica
- papeles y cartones con una elevada proporción de rellenos y papel usado
- papeles y cartones obtenidos mediante proceso químico de trapos, paja y madera, así como del procesamiento de sustancias sintéticas.

Las materias primas, como celulosa, trapos, papel usado, etc., son desmenuzadas en una despulpadora. Después de esto, se elimina del material fibroso cualquier rastro de partícula ajena como: arena, vidrio, fragmentos de metales o de plásticos, etc. Esta materia fibrosa pasa luego por máquinas de batido (del tipo holandés) y de allí a grandes receptáculos, donde generalmente se le añaden los rellenos y otras materias minerales. Esta pulpa, mayormente líquida, es pasada a través de tamices redondos o largos hacia la máquina de fabricación de papel, donde se forma una hoja al eliminar el agua mediante la filtración. Esta hoja se seca térmicamente y, en algunos casos, pasa por procesos adicionales. La Figura 2.4.-8 muestra el diagrama de flujo de una fábrica de papel, incluyendo los puntos de generación de aguas residuales (OMS /179 d/).

Las fábricas de papel y cartón tienen un elevado consumo de agua. En el transcurso de la fabricación de papel, el material fibroso se diluye a tal grado que existen entre 125 y 2000 m<sup>3</sup> de aguas residuales por tonelada de papel (MEINCK /107/). Los siguientes ejemplos muestran diferentes grados de demanda de agua:

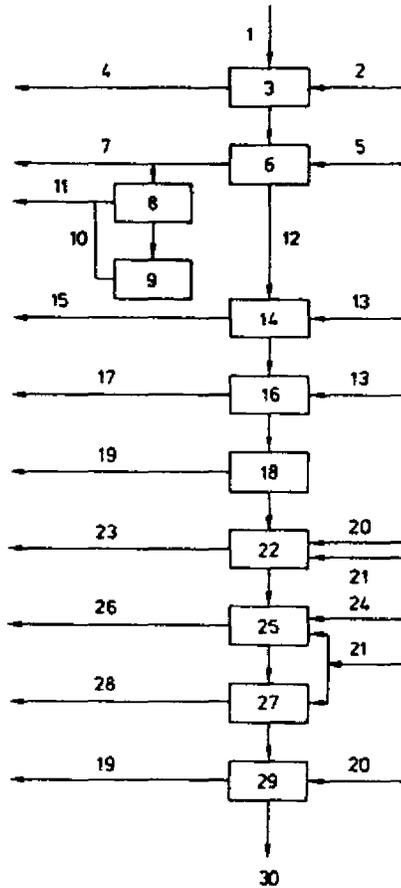
papel de embalaje	125 m <sup>3</sup> /t
papel para periódicos	200 m <sup>3</sup> /t
papel fino	400 m <sup>3</sup> /t

Para la fabricación de papel fino, como el papel para cigarrillos, se necesitan cantidades de agua aún mayores.

Los aguas residuales provenientes del blanqueo contienen, además de constituyentes orgánicos más o menos fácilmente putrescibles, cantidades considerables de sustancias inorgánicas, como sulfato de aluminio y bario, tierra arcillosa y cargadores (caolín). La DBO<sub>5</sub> de estas aguas residuales puede ser muy alta, llegando incluso a 3000 mg/l, especialmente cuando se ha incluido material usado (textiles, papel, etc.) en el proceso. En el Cuadro 2.4.-46 se muestra el flujo de aguas residuales y la población equivalente por tonelada de producto (BUCKSTEEG /38/).

CUADRO 2.4.-46  
FLUJO DE AGUAS RESIDUALES Y POBLACION EQUIVALENTE DE  
LAS FABRICAS DE PAPEL POR T DE PRODUCTO /158/

	Flujo de aguas residuales (m <sup>3</sup> )	Población equivalente (PE)
Fábricas de papel	22 - 144	51 - 1254
Fábricas de cartón	17 - 138	84 - 299
Fábricas de pulpa blanca	263 - 360	613 - 2007
Fábricas de pulpa marrón	116 - 158	52 - 1230
Fábricas de cartón de paja	18 - 118	1665 - 1862



- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Troncos de árboles                    | 16. Lavado                          |
| 2. Agua fresca o reciclada               | 17. Agua de lavado                  |
| 3. Preparación de la madera              | 18. Desecado                        |
| 4. Residuos de la madera                 | 19. Aguas residuales                |
| 5. Solución de sulfito, sulfato alcalino | 20. Productos químicos              |
| 6. Pasta de madera                       | 21. Agua cruda o recirculada        |
| 7. Solución de sulfito residual          | 22. Blanqueo                        |
| 8. Evaporación                           | 23. Residuos de blanqueo            |
| 9. Material de alimentación concentrado  | 24. Precipitadores y pigmentos      |
| 10. Condensado                           | 25. Preparación de soluciones madre |
| 11. Planta de neutralización             | 26. Aguas residuales de la limpieza |
| 12. Pasta                                | 27. Máquina de fabricación de papel |
| 13. Agua blanca o dulce                  | 28. Agua blanca                     |
| 14. Clasificación                        | 29. Acabado                         |
| 15. Solución diluida                     | 30. Papel acabado                   |

Figura 2.4.-8: Diagrama de la fabricación de papel /179d/