

# Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las fábricas de pasta y papel

## Introducción

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión<sup>1</sup>. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. En el caso de proyectos complejos, es probable que deban usarse las guías aplicables a varios sectores industriales, cuya lista completa se publica en el siguiente sitio web:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>.

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente

pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia. En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles y los indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Si corresponde utilizar niveles o indicadores menos rigurosos en vista de las circunstancias específicas del proyecto, debe incluirse como parte de la evaluación ambiental del emplazamiento en cuestión una justificación completa y detallada de cualquier alternativa propuesta, en la que se ha de demostrar que el nivel de desempeño alternativo protege la salud humana y el medio ambiente.

## Aplicabilidad

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las fábricas de pasta y papel incluyen información relevante para las instalaciones en que se fabrica pasta y papel, incluidos los procesos de fabricación de pasta químicos y mecánicos

<sup>1</sup> Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

basados en el uso de madera, fibras recicladas y materias primas no madereras como el bagazo, la paja y la caña. Este documento no incluye la producción o recolección de materias primas, materia que es objeto de las correspondientes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. El Anexo A contiene una descripción de las actividades del sector.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria  
Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño  
Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales  
Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria  
Anexo B — Guías sobre efluentes y emisiones / Valores de referencia sobre uso de los recursos

## 1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas a las fábricas de pasta y papel, que generalmente tienen lugar durante la fase operacional, así como recomendaciones para su manejo. Las Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad ofrecen recomendaciones para el manejo de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad que son comunes a la mayoría de las grandes instalaciones industriales durante las fases de construcción, operación y desmantelamiento.

### 1.1 Medio ambiente

Los aspectos ambientales más significativos asociados a las fábricas de pasta y papel que se producen durante la fase operacional están relacionados con:

- Aguas residuales
- Emisiones a la atmósfera
- Residuos
- Ruido

#### Aguas residuales

Las actividades de fabricación de pasta y papel pueden generar descargas de aguas residuales a una tasa de 10-250 metros cúbicos por tonelada métrica (m<sup>3</sup>/t) de pasta seca al aire (ADP<sup>2</sup>). Antes de someterse a tratamiento, los efluentes de las fábricas de pasta contienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión totales (SST; principalmente de las fases de depuración, lavado y blanqueo del proceso de cocción y fabricación de la pasta, así como de los residuos del descortezado, los compuestos inorgánicos de la recuperación

química y cargas); demanda bioquímica de oxígeno (DBO; principalmente asociada al descortezado húmedo y a la depuración, lavado y blanqueo); demanda química de oxígeno (BQO) y compuestos orgánicos disueltos (principalmente del descortezado húmedo, la cocción / fabricación de pasta, el tamizado, el lavado, el blanqueo, y el licor derramado de la planta de recuperación química) que pueden incluir PCDD (policlorodibenzo-para-dioxinas) y PCDF (policlorodibenzofuranos), conocidos normalmente como dioxinas cloradas y furanos clorados. Cuando se utilizan tecnologías de blanqueo Libres de Cloro Elemental (ECF) o Totalmente Libres de Cloro (TCF), las concentraciones de dioxinas y furanos en los efluentes se hallan por debajo de los límites de detección<sup>3</sup>.

Entre las fuentes de compuestos de nitrógeno y fósforo descargadas en aguas residuales que pueden contribuir a la eutrofización de las aguas receptoras está la madera empleada como materia prima, que también es una fuente de ácidos resínicos. Los ácidos resínicos, especialmente los procedentes de la pasta de madera de coníferas, pueden resultar tóxicos para los peces y para los invertebrados bénticos. El blanqueo de la pasta basado en cloro elemental puede generar fenoles clorados.

Otras cuestiones relacionadas con la descarga de aguas residuales incluyen el tintado de los peces, el color relacionado con el contenido en DQO y descargas de licor negro, derrames de pasta de tanques que se rebosan y la escorrentía

<sup>3</sup> De las sustancias químicas enumeradas en el Anexo C del Convenio de Estocolmo, sólo se han identificado como generados durante la fabricación de pasta (cuando se utiliza cloro elemental) el PCDD y el PCDF. De los 17 congéneres PCDD/PCDF con cloro en las posiciones 2,3,7 y 8, sólo dos (2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF) se han identificado como generados durante el blanqueo de la pasta química cuando se utiliza cloro. La formación de 2,3,7,8-TCDD and 2,3,7,8-TCDF se genera principalmente durante la fase C del blanqueo debido a la reacción del cloro con precursores de TCDD y TCDF (PNUMA, 2006).

<sup>2</sup> La pasta seca al aire es aquella con un contenido seco del 90%.

procedente de los almacenes de troncos. Esta última fuente puede incluir sustancias químicas tóxicas (como taninos, fenoles, resinas y ácidos grasos) filtrados de la madera, así como tierra y otros materiales eliminados de la corteza.

### **Manejo de aguas residuales – General**

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen información sobre las estrategias de conservación de agua aplicables a la mayoría de las instalaciones industriales que pueden contribuir a reducir las corrientes de aguas residuales. Las estrategias de prevención de aguas residuales específicas de la industria que pueden aplicarse en la mayoría de los procesos de fabricación de pasta y papel se presentan abajo. Los métodos recomendados para prevenir y controlar las aguas residuales incluyen los siguientes:

- El descortezado seco de madera
- Sistemas para la recolección y el reciclaje de descargas temporales y accidentales procedentes de vertidos de aguas de proceso
- Volúmenes suficientes y equilibrados para los tanques de almacenamiento de pasta, los tanques de almacenamiento de cuarteados y los tanques de almacenamiento de agua blanca para evitar o reducir las descargas de aguas de proceso
- El reciclaje de las aguas residuales, con o sin recuperación simultánea de fibras (utilizando filtros o plantas de flotación)
- La separación de las aguas residuales contaminadas de las no contaminadas (limpias), con recolección y reutilización de las aguas de refrigeración y de circuito cerrado sin contacto
- Las aguas pluviales que pueden estar contaminadas incluyen la escorrentía procedente de las zonas de manipulación de troncos y madera, equipos de proceso,

tejados de edificios y zonas inmediatamente adyacentes a las áreas de proceso de la planta. La escorrentía debe combinarse con los efluentes de proceso para su tratamiento.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** presentan recomendaciones aplicables al manejo del agua de refrigeración, así como recomendaciones adicionales aplicables a las aguas pluviales.

### **Manejo de aguas residuales – Fábricas de pasta kraft y de sulfito**

Otros métodos recomendados para prevenir y controlar las aguas residuales en las fábricas de pasta kraft y de sulfito son:

- Designificar con oxígeno antes de la planta de blanqueo
- Lavar de forma eficaz la pasta antes del blanqueo (fábricas de pasta kraft y al sulfito)
- Reducir o eliminar la formación de 2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF en los procesos de blanqueo de madera y de fibras no madereras mediante las siguientes medidas:
  - Sustituir el blanqueo con cloro elemental por el blanqueo Libre de Cloro Elemental (ECF)<sup>5</sup> o Totalmente Libre de Cloro (TCF)
  - Reducir la aplicación de cloro elemental disminuyendo el múltiplo de cloro o aumentando la sustitución de dióxido de cloro por cloro molecular
  - Minimizar las posibilidades de que precursores como la dibenzo-p-dioxina y el dibenzofurano penetren en la planta de blanqueo empleando aditivos libres de precursores y aplicando un lavado exhaustivo
  - Maximizar la eliminación de los nudos

<sup>4</sup> PNUMA, 2006.

<sup>5</sup> El blanqueo ECF requiere la fabricación dentro de la planta de dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>). El proceso elegido para producir el ClO<sub>2</sub> debe generar un volumen bajo de cloro como subproducto de la producción de ClO<sub>2</sub>.

- Eliminar las fibras contaminadas con fenoles policlorados
- Eliminar los ácidos hexenurónicos mediante hidrólisis suave en la pasta proveniente de especies de madera dura, especialmente el eucalipto
- Recoger y reciclar los vertidos de licor de cocción usado
- Limpiar y reutilizar los condensados de la planta de evaporación y del digestor para reducir los compuestos de azufre reducido (TRS) que producen olores (fábricas kraft y de sulfito)
- Neutralizar el licor de cocción usado antes de la evaporación y reutilizar los condensados para reducir los compuestos orgánicos disueltos (fábricas de sulfito)
- Incluir la recuperación química tanto en las fábricas de sulfito como en las fábricas kraft.

#### **Manejo de aguas residuales – Fábricas mecánicas y químico-mecánicas**

Otros métodos recomendados para prevenir y controlar las aguas residuales en las fábricas mecánicas y químico-mecánicas incluyen los siguientes:

- Minimizar las pérdidas por rechazo
- Maximizar la recirculación del agua en el proceso de fabricación de pasta mecánico
- Aplicar espesadores para separar de forma eficaz los sistemas de agua de las plantas de pasta y papel
- Separar los sistemas de agua de las fábricas de pasta y de las fábricas de papel y utilizar un sistema de aguas a contracorriente desde la fábrica de papel a la fábrica de pasta para reducir el consumo de agua global, los SST y los compuestos orgánicos disueltos.

#### **Manejo de aguas residuales – Fábricas de papel y fábricas integradas**

Otros métodos recomendados de prevención y control de las aguas residuales en las fábricas de papel y en las fábricas integradas incluyen los siguientes:

- Reciclar el agua blanca, recuperando las fibras mediante filtros de discos, filtros de tambor o unidades de microflotación y minimizar el número de tomas de agua fresca en el sistema de agua blanca
- Separar el tratamiento de las aguas residuales procedentes del proceso de estucado, por ejemplo mediante ultra filtración-reciclado de los productos químicos de estucado
- Sustituir las sustancias químicas de proceso potencialmente perjudiciales con alternativas menos dañinas

#### **Tratamiento de aguas residuales**

Las tecnologías de final de línea para el tratamiento de aguas residuales dependen de varios factores, incluida la composición de los efluentes, los requisitos medibles de calidad de los efluentes y el lugar de descarga (por ejemplo, directamente a un curso de agua o con pretratamiento antes de su vertido a un sistema de tratamiento de aguas residuales municipal o de otro tipo). El tratamiento de las aguas residuales generadas por las fábricas de pasta debería típicamente incluir un tratamiento primario consistente en la neutralización, depuración y sedimentación (o, en ocasiones, la flotación/ hidrociclado) para eliminar los sólidos en suspensión, un tratamiento biológico / secundario para reducir el contenido orgánico en las aguas residuales y destruir los componentes orgánicos tóxicos, y, con menos frecuencia, un tratamiento terciario para reducir en mayor medida la toxicidad, los sólidos en suspensión, los componentes orgánicos y el color. Los procesos de tratamiento

de aguas residuales generan lodos que deben gestionarse como material residual o como subproductos.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales. Las recomendaciones específicas que suelen aplicarse en la industria del papel y de la pasta son las siguientes:

- **Tratamiento mecánico primario:** para eliminar las fibras y otros sólidos en suspensión de las aguas residuales se suele emplear un depósito de decantación mecánico o un estanque de sedimentación. En ocasiones se aplica la floculación química para ayudar a eliminar los sólidos en suspensión
- **Tratamiento secundario:** el tratamiento biológico se aplica en la mayoría de las operaciones de fabricación de pasta y papel que generan descargas relativamente elevadas de contaminantes orgánicos, incluidos compuestos tóxicos como ácidos resínicos y compuestos orgánicos clorados. Las aplicaciones específicas incluyen diversos tipos y configuraciones de tratamiento biológico. Los sistemas más frecuentemente utilizados consisten en una combinación de i) lodos activados; ii) lagunas aeradas; iii) filtros biológicos de varios tipos, a menudo empleados en combinación con otros métodos; iv) tratamientos anaerobios utilizados en la fase de pretratamiento, seguidos por una fase biológica aerobia; y v) combinaciones de distintos métodos, cuando es necesaria una eficiencia muy elevada.
- Además, en ocasiones es necesario ampliar el período de aeración para reducir compuestos tóxicos como los ácidos resínicos y los ácidos grasos.
- Aplicar preferentemente un pretratamiento biológico anaerobio en el caso de ciertos tipos de efluentes con una

elevada DBO/DQO y un bajo contenido en sustancias tóxicas (como, por ejemplo, los condensados del proceso de la pasta al sulfito y los efluentes del proceso de fabricación de pasta mecánico y de RCF, reutilizando el resto de los condensados purificados para reducir el volumen global de consumo de agua y de efluentes.

### Emisiones a la atmósfera

Las principales emisiones a la atmósfera generadas durante la fabricación de pasta y papel son los gases de proceso, que varían en función del proceso de fabricación de pasta empleado y que pueden incluir compuestos de azufre (con sus olores asociados), material particulado, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, cloro, dióxido de carbono y metano. Otras fuentes habituales de emisiones incluyen los gases de escape de las plantas de incineración y de las unidades auxiliares de generación de vapor y electricidad que emiten material particulado, compuestos de azufre y óxidos de nitrógeno.

### Gases de proceso – Fábricas kraft y de sulfito

**Gases malolientes (fábricas kraft)** – Los procesos de la pasta suelen emitir compuestos de azufre muy malolientes conocidos como azufre reducido total (TRS), que incluyen sulfuro de hidrógeno, metil mercaptano, sulfuro de dimetilo y disulfuro de dimetilo. Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser en ocasiones una fuente de gases malolientes, pero suelen ser menos relevantes que los derivados del proceso. Las estrategias de manejo recomendadas incluyen las siguientes:

- En las fábricas de pasta kraft blanqueada y sin blanquear, recoger e incinerar los gases malolientes de las ventilaciones en todos aquellos puntos del proceso en que se manipula licor negro, la pasta cruda sin lavar o parcialmente lavada, la pasta sin blanquear y los

condensados para oxidar completamente todos los compuestos de azufre reducido

- En el caso de los gases altamente concentrados (generalmente procedentes de los condensados y de las ventilaciones de los digestores), debe disponerse de un sistema auxiliar de incineración diseñado para sustituir el sistema principal en caso necesario, minimizando así la descarga de los gases TRS a la atmósfera.
- En situaciones sensibles (por ejemplo, en la proximidad de zonas residenciales), debe tenerse en cuenta la posibilidad de disponer de un incinerador auxiliar u otro punto de incineración alternativo para los gases TRS de baja concentración. La caldera de recuperación es el punto de incineración preferido.
- En la medida de lo posible, el punto de descarga de las ventilaciones de emergencia necesarias a la atmósfera debe ser una chimenea elevada, caliente, como por ejemplo la caldera de recuperación o la caldera auxiliar.
- Considerar la posibilidad de cubrir y recoger las emisiones gaseosas procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior incineración, en el caso poco probable de que se produzcan problemas significativos.

La incineración de los gases de TRS puede llevarse a cabo en los equipos de la propia planta, preferentemente dentro de la caldera de recuperación (donde puede recuperarse el azufre), o en la caldera auxiliar. En el caso de los gases concentrados, otras opciones son el horno de cal (aunque debe tenerse en cuenta la generación de sulfato de calcio resultante) o un incinerador externo independiente.

**Calderas de recuperación (Fábricas kraft y de sulfito)** – Las emisiones procedentes de las calderas de recuperación suelen caracterizarse por la presencia de material particulado y dióxido

de azufre. Otros componentes frecuentes en las fábricas kraft son los óxidos de nitrógeno y, en ocasiones, el sulfuro de hidrógeno. La recuperación del dióxido de azufre se considera fundamental en las fábricas de sulfito. Las principales estrategias de manejo de las emisiones son las siguientes:

- Oxidar el licor negro antes de la evaporación por contacto directo<sup>6</sup>
- Reducir las emisiones de azufre concentrando el licor negro en el evaporador (fábricas kraft) por encima de un 75% de materia seca antes de la incineración en la caldera de recuperación
- Reducir las emisiones de azufre controlando los parámetros del proceso de combustión en la caldera de recuperación, incluida la temperatura, el suministro de aire, la distribución del licor negro en el horno y la carga del horno (fábricas kraft)
- Reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) controlando las condiciones de combustión, como el exceso de aire
- Recoger las emisiones de SO<sub>2</sub> mediante absorción en una solución alcalina para generar licor de cocción nuevo (fábricas de pasta de sulfito)

Las chimeneas deben diseñarse de acuerdo con un enfoque basado en Buenas Prácticas Industriales Internacionales, descrito en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**<sup>7</sup>.

**Hornos de cal (Fábricas kraft)** – La reacción de la calcinación genera emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y material particulado. Los gases de TRS también pueden generarse debido a una

<sup>6</sup> Aplicable a las plantas ya existentes, ya que en las plantas nuevas no deben emplearse evaporadores de contacto directo.

<sup>7</sup> En el caso de las fábricas de pasta, puede consistir en una única chimenea, por lo general de más de 100 metros de altura por encima de los terrenos más cercanos o que respete las indicaciones del modelo de dispersión de emisiones atmosféricas.

eliminación defectuosa del sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) del lodo calizo. Las estrategias primarias recomendadas para el manejo de las emisiones incluyen las siguientes:

- Las emisiones de  $\text{SO}_2$  deben reducirse mediante el empleo de combustibles de bajo contenido en azufre y el control del exceso de oxígeno
- Las emisiones de  $\text{NO}_x$  deben reducirse mediante el control de las condiciones de combustión
- Las emisiones de sulfuro de hidrógeno deben reducirse mediante la correcta operación de los hornos y el control del sulfuro de sodio residual en el lodo calizo. Esto puede conseguirse lavando y filtrando adecuadamente el lodo calizo para eliminar el sulfuro de sodio y reduciendo el contenido en agua (hasta un 20 o 30 por ciento), lo que permite la oxidación en filtro antes de que el lodo seco entre en el horno.

Las medidas secundarias que se recomiendan para controlar las fuentes de emisiones arriba citadas incluyen las siguientes:

- Utilizar controles secundarios para las emisiones particuladas, como por ejemplo precipitadores electrostáticos en las calderas de recuperación, las calderas auxiliares y los hornos de cal
- Utilizar controles secundarios para las emisiones de  $\text{SO}_2$ , como por ejemplo lavadores húmedos alcalinos para eliminar los gases ácidos y los subproductos de la incineración de los gases de TRS.

**Compuestos Orgánicos Volátiles** (*Todas las fábricas*)<sup>8</sup> – Las calderas auxiliares mal diseñadas que emplean corteza u otros materiales de madera como combustible pueden emitir a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles (COV).

<sup>8</sup> Esta sección se ocupa de los COV distintos de los componentes malolientes, examinados más arriba.

En las fábricas de pasta mecánica, las principales fuentes de emisiones de COV son la evacuación de aire procedente del proceso de lavado de las astillas de madera y de la ducha de condensación, donde se condensa el vapor generado durante el proceso de fabricación de pasta mecánico, contaminado con componentes volátiles de la madera. Las concentraciones de COV dependen del contenido resínico de la madera y de las técnicas específicas de desfibrado aplicadas. Las sustancias emitidas incluyen ácidos acéticos, ácidos fórmicos, etanol, pinenos y turpenos. Las medidas recomendadas para minimizar las emisiones de COV incluyen:

- Asegurar que las emisiones de COV derivadas del proceso de fabricación de pasta mecánico a base de madera con un elevado contenido extractivo (resina) se recuperen en las unidades de recuperación de calor y el lavador de arranque (para el vapor TMP), y recolecten para luego tratar los compuestos volátiles. Los COV que contienen aire de escape puede incinerarse en las calderas existentes o en un horno independiente. Los turpenos pueden ser recuperados de aquellos condensados contaminados que contienen principalmente turpenos.
- Operar las calderas de corteza con un exceso de oxígeno suficiente para evitar las emisiones de COV (y CO), minimizando a la vez la formación de  $\text{NO}_x$ . Para las calderas de residuos sólidos es preferible una caldera de lecho fluidizado.

#### Fuentes de combustión

Las fábricas de pasta y de papel consumen elevadas cantidades de energía y vapor, y en ocasiones utilizan calderas auxiliares (calderas de corteza y calderas de vapor adicionales) para generar energía de vapor. Las emisiones relacionadas con el funcionamiento de estas fuentes de energía de vapor suelen consistir en subproductos como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , MP y compuestos



orgánicos volátiles (COV), y gases de efecto invernadero. Las estrategias de manejo recomendadas incluyen la adopción de una estrategia combinada que incluye la reducción en la demanda de energía, la utilización de combustibles más limpios y la aplicación de controles de emisiones en los casos necesarios. En las fábricas de pasta no integradas que son eficientes desde el punto de vista energético, el calor generado a partir de la combustión del licor negro y de las cortezas debe superar las necesidades de energía de todo el proceso de producción.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones en materia de eficiencia energética. Otras recomendaciones específicas para las operaciones de fabricación de pasta y papel incluyen<sup>9, 10</sup>:

- Reducir las pérdidas de calor y el consumo de calor aumentando el contenido en sólidos secos de la corteza; incrementando la eficiencia de las calderas de vapor (por ejemplo uso de economizadores); incrementando la eficacia del sistema de calentamiento secundario (por ejemplo agua caliente a unos 85 °C); incrementando el uso de calor secundario para calentar las instalaciones; incrementando la concentración de la pasta; y manteniendo un sistema de agua bien cerrado y una planta de blanqueo relativamente bien cerrada
- Reducir el consumo de energía eléctrica manteniendo una consistencia de la pasta tan alta como sea posible durante el tamizado y lavado; controlando la velocidad de los motores de gran tamaño; utilizando bombas de vacío eficientes; y eligiendo las dimensiones adecuadas de conducciones, bombas y ventiladores

<sup>9</sup> EU BREF (2001).

<sup>10</sup> Otras recomendaciones para aumentar la eficiencia energética pueden leerse en Williamson (1994).

- Maximizar la generación de energía eléctrica manteniendo una presión alta en la caldera; manteniendo la presión del vapor de salida de la turbina de contrapresión todo lo baja que sea posible técnicamente; utilizando una turbina de condensación para producir electricidad a partir del exceso de vapor; manteniendo turbinas de alta eficiencia; y precalentando el aire y el combustible que alimenta las calderas.

En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se ofrecen recomendaciones sobre la gestión de pequeñas emisiones de fuentes de combustión con una capacidad calorífica de hasta 50 megavatios térmicos (MWth), incluidas normas de emisión a la atmósfera de emisiones de escape. Las **Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la electricidad térmica** contienen orientaciones aplicables a fuentes de combustión con una capacidad superior a los 50 MWth.

### Desechos y residuos

Las fábricas de pasta y papel generan por lo general un volumen significativo de residuos sólidos no peligrosos, pero muy pocas cantidades de residuos peligrosos. Los residuos propios de la industria incluyen la corteza procedente del descortezado de la madera, las fibras residuales procedentes de la fabricación de pasta con bagazo, lodos inorgánicos (por ejemplo lodos de licor verde, lodos de cal) procedentes de la recuperación química, basura (por ejemplo plásticos) separada del cartón en las plantas RCF, y lodos de fibra (i.e., clarificador primario) y biológicos procedentes del tratamiento de las aguas residuales. Todas las fábricas generan una pequeña cantidad de residuos peligrosos, entre los que se encuentran residuos de aceite y grasa, restos de equipos eléctricos y residuos químicos que suelen alcanzar aproximadamente 0,5-1kg por tonelada de producto.

La clasificación de los residuos sólidos como peligrosos o no peligrosos debe hacerse sobre la base de los criterios normativos locales. Los residuos peligrosos y no peligrosos deben ser cuidadosamente separados para reducir el volumen de residuos que puedan estar contaminados con material peligroso y por lo tanto ser susceptibles de ser clasificados como peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen recomendaciones para el manejo y la eliminación segura de los residuos industriales peligrosos y no peligrosos. Otras recomendaciones específicamente aplicables a las fábricas de pasta y papel son:

- El volumen de residuos sólidos debe reducirse, en la medida de lo posible, mediante la reutilización in situ y el reciclaje de los materiales, por ejemplo:
  - Reciclar los lodos de fibra
  - Reintroducir los nudos y los tamices en el proceso de digestión
  - Mejorar la deshidratación de los lodos para facilitar su quema (a menudo en calderas auxiliares que utilizan un combustible complementario)
  - Reducir la generación de residuos orgánicos como, por ejemplo, la corteza, realizando el descortezado en el bosque (y dejando la corteza allí para el mejoramiento del suelo)
  - Incinerar los residuos orgánicos, como la corteza<sup>11</sup>, en calderas de generación de vapor para reducir el consumo global de combustible
- Otras recomendaciones para el manejo de residuos son:
  - Los residuos procedentes del descortezado<sup>12</sup> deben minimizarse mediante una manipulación limpia de la

madera, seguida por la segregación de las fracciones orgánicas limpias que puedan ser empleadas como combustible para la generación de vapor y el vertido de la fracción restante

- Las cenizas de corteza y de madera y otras cenizas pueden reciclarse como material de relleno para obras, para la construcción de carreteras o para mejorar el suelo, o bien verterse.
- El lodo calizo (fábricas kraft) suele reciclarse en el sistema de recuperación de la planta, pero el material sobrante puede emplearse comercialmente para calcificar suelos ácidos, o bien verterse.
- Utilizar los lodos de licor verde (fábricas kraft) como cubierta diaria en los vertederos de residuos sólidos tras su deshidratación mejorada o, con menos frecuencia, como fertilizante forestal (basándose en un análisis del contenido en nutrientes y de los posibles impactos de la aplicación sobre la tierra). Estos lodos también pueden utilizarse como agente neutralizador para las aguas residuales ácidas.
- El lodo de destintado (fábricas RCF) puede utilizarse como carga para otros tipos de papel, compostado con otros materiales orgánicos para fabricar productos de mejora del suelo, o bien incinerados.
- Las fibras de las fábricas de bagazo puede compostarse con otros materiales orgánicos para fabricar productos de mejora del suelo, o bien incinerarse.
- El lodo de fibras puede ser reciclado para la producción dentro de la propia planta, venderse a otras plantas o transportarse al exterior para su utilización en otros productos. También puede

<sup>11</sup> La "corteza" es la parte principal de la corteza que se separa de los troncos, que es relativamente limpia y puede emplearse como combustible en calderas de combustible sólido.

<sup>12</sup> El "residuo de corteza" es una fracción menor de la corteza, contaminada con tierra y grava, que puede no ser apta como combustible.

incinerarse o utilizarse como cubierta diaria en vertederos.

- Los lodos biológicos pueden incinerarse en la caldera de corteza junto con el lodo de fibras, o evaporarse e incinerarse en el sistema de recuperación de las plantas kraft. Además, puede compostarse con otros materiales orgánicos para elaborar productos de mejora del suelo.
- Los lodos de tratamiento terciario puede mezclarse con otros lodos para su incineración en la caldera de corteza, o compostarse con otros materiales orgánicos para la elaboración de productos de mejora del suelo<sup>13</sup>.

## Ruido

Las fábricas de pasta y papel son intrínsecamente ruidosas debido a los numerosos equipos mecánicos que se utilizan, los vehículos de transporte, las actividades físicas y el empleo de energía (en particular, bombas de vacío, bombas líquidas y sistemas de generación de vapor). Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** ofrecen recomendaciones para el manejo del ruido.

## 1.2 Higiene y seguridad en el trabajo

Los peligros relacionados con la higiene y la salud laboral en planta deberían identificarse en base a evaluaciones exhaustivas de peligros y riesgos como, por ejemplo, estudios

<sup>13</sup> La aplicabilidad de los distintos procedimientos de manejo de lodos depende de la calidad y tipo de los mismos. Por ejemplo, la incineración en la caldera de recuperación sólo es aplicable, por lo general, a los lodos biológicos de las fábricas kraft. La incineración en una caldera de corteza o en un incinerador independiente sólo es factible en el caso de aquellos lodos con un contenido relativamente elevado en materia orgánica y con un alto contenido en sólidos secos. El compostaje sólo es viable con aquellos lodos con un alto contenido en materia orgánica. Los lodos procedentes de la planta de tratamiento de residuos deben evaluarse caso por caso para determinar cuáles de ellos son residuos peligrosos y no peligrosos y cuál sería su impacto si se aplicasen sobre el terreno.

de identificación de peligros [HAZID], estudios de peligros y operabilidad [HAZOP] u otros estudios de evaluación de riesgos. Los resultados deben utilizarse para planificar el manejo de las cuestiones relacionadas con la salud y la seguridad, para diseñar las instalaciones y sistemas de trabajo seguros, y para la preparación y comunicación de procedimientos de trabajo seguro.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen medidas generales relativas al diseño, la operación y la supervisión de las instalaciones para manejar los principales riesgos para la higiene y la seguridad en el trabajo. También presentan orientaciones generales relativas a las actividades de construcción y desmantelamiento, así como recomendaciones en materia de capacitación en higiene y seguridad y de manejo de peligros físicos, químicos, biológicos y radiológicos comunes a todas las industrias.

Otras cuestiones relativas a la salud y la seguridad en el trabajo que hay que tener en cuenta en las fábricas de pasta y papel incluyen:

- Peligros químicos
- Peligros físicos
- Polvo de madera
- Agentes biológicos
- Calor
- Espacios reducidos
- Ruido
- Radiación

## Peligros químicos

La industria de la pasta y el papel utiliza numerosas sustancias químicas que pueden resultar perjudiciales para la salud y la seguridad de los trabajadores. Dichas sustancias incluyen:

Gases—tales como compuestos de azufre reducido (proceso de la pasta kraft), compuestos de azufre oxidados, principalmente dióxido de azufre (proceso de la pasta kraft y al sulfito), cloro, dióxido de cloro, terpenes y otros compuestos orgánicos volátiles, y oxígeno

Líquidos—incluyendo el hidróxido de sodio y otros cáusticos, ácidos como el ácido sulfúrico, subproductos de la cocción como la trementina, el hipoclorito de sodio, las soluciones acuosas de dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno, los biocidas, los aditivos para la fabricación de papel, disolventes, y colorantes y tintes

Sólidos—incluido el clorato de sodio, el sulfato de sodio, la cal, carbonato de calcio, ceniza y amianto (utilizado para aislamientos).

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los posibles impactos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores asociados a sustancias químicas incluyen:

- Automatizar las operaciones de fabricación de pasta y de blanqueo en la medida de lo posible, de modo que los trabajadores puedan supervisar y operar los procesos desde habitaciones de control aisladas de las fuentes de exposición química y de otros peligros para la salud y la seguridad. Un control eficaz del proceso también permite minimizar el uso del blanqueo y de otras sustancias químicas.
- Proporcionar controles de ingeniería, tales como válvulas de tapado automáticas para el digestor; escape local en los digestores continuos y los tanques de descarga capaz de ventilar al mismo ritmo al que se descargan los gases de los recipientes; presión negativa en la caldera de recuperación y en las torres de dióxido de sulfito-azufre para evitar los escapes de gas; recintos plenos o parciales

ventilados sobre los recipientes post-digestión; cintas transportadoras, elevadores y tolvas de almacenamiento para la cal cerrados o ventilados; recintos cubiertos con ventilación de escape específica para cada torre de blanqueo y lavador; y recintos sobre las sequerías de hojas<sup>14</sup>

- Instalar monitores continuos de gas con alarmas en aquellos puntos donde pueden producirse fugas o generarse gases peligrosos, como por ejemplo la recuperación química, la zona de almacenamiento de cloro, el generador de dióxido de cloro y las zonas de blanqueo, y proporcionar a todos los trabajadores, contratistas y visitantes de estas zonas respiradores de escape de emergencia
- Mantener una base de datos actualizada de todos los productos químicos utilizados y elaborados en la fábrica, incluidos datos sobre peligros, toxicidad, propiedades biológicas, etc.
- Identificar y prevenir posibles reacciones químicas que pueden provocar la formación de gases peligrosos y otras sustancias (por ejemplo, la combinación de licor para la elaboración de pasta al sulfato y ácidos en el sistema de aguas residuales puede generar sulfuro de hidrógeno). Todos los productos químicos utilizados o elaborados en las instalaciones deben ser revisados para verificar su reactividad con otro tipo de productos químicos utilizados en la planta.
- Etiquetar, marcar, envasar y almacenar todos los productos químicos y todos los materiales peligrosos de acuerdo con los requisitos y normas nacionales e internacionalmente reconocidos

<sup>14</sup> Organización internacional del Trabajo, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. 4ª edición, capítulo 72, Industria del papel y de la pasta de papel, Riesgos profesionales y controles.

- Asegurar que el personal de la empresa contratista, incluidas las empresas de mantenimiento conservado durante los períodos de parada, está formado y respeta los procedimientos de seguridad de la planta, incluido el uso de equipos de protección personal y la manipulación de agentes químicos
- Formar a los trabajadores en la manipulación del dióxido de cloro y del clorato de sodio. Humedecer los derrames de clorato de sodio con agua y mantener húmeda toda indumentaria contaminada hasta su lavado
- Evitar la utilización de cloro elemental para el blanqueo
- Utilizar tintes y colorantes a base de agua (en lugar de a base de disolventes)
- Impedir la acumulación de polvo de azufre en las tolvas de almacenamiento de azufre
- Implementar un programa de inspección y mantenimiento para prevenir e identificar fugas, fallos en los equipos, etc.

### **Peligros físicos**

Las heridas más graves en este sector a menudo se deben a fallos en los sistemas de bloqueo y etiquetado de seguridad. Deben implementarse procedimientos de bloqueo y etiquetado de seguridad sólidos como los descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

### **Peligros físicos generales**

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los peligros físicos generales (por ejemplo desplazamientos, caídas y peligros relacionados con la manipulación de materiales) incluyen:

- Instalar plataformas de detención bajo los transportadores que cruzan pasajes o calzadas
- Limpiar rápidamente los vertidos

- Utilizar superficies de tránsito antideslizantes que puedan ser drenadas
- Instalar protectores laterales en los pasajes adyacentes a las líneas de producción o situados en altura, y señalar claramente las pistas de tránsito para vehículos y peatones
- Dotar los equipos móviles de sistemas de protección en caso de vuelco
- Establecer rutinas para asegurar que las grúas no desplazan cargas pesadas por encima del personal

### **Seguridad de la maquinaria**

Las fábricas de pasta emplean maquinaria para el procesamiento de la madera y otros equipos, como por ejemplo descortezadoras y astilladoras, que pueden exponer a los trabajadores a heridas graves.

Las recomendaciones para prevenir y controlar las heridas causadas por los equipos de troceado y descortezado<sup>15</sup> incluyen:

- Dotar los equipos con piezas móviles (por ejemplo, contactos rodantes entre la cadena y los dientes de rueda de los transportadores; tambores transportadores, correas de transmisión, poleas y ejes; rodillos en las máquinas de papel; rodillos alimentadores de las máquinas trituradoras) con dispositivos de seguridad o interruptores de bloqueo que impidan el contacto con las mismas
- Apagar y bloquear los equipos antes de emprender labores de mantenimiento, limpieza o reparación<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Pueden consultarse técnicas específicas para minimizar el riesgo de heridas asociadas a los equipos de corte y descortezado en US OSHA (2003), disponible en: [http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/log\\_breakdown.html](http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/log_breakdown.html)

<sup>16</sup> Ver, por ejemplo, la normativa de la U.S. Occupational Health Administration (Administración de los Estados Unidos para la Salud Ocupacional) por las fábricas de pasta, papel y cartón, 29 Código Federal de Regulaciones (CFR) 1910.261(a) y los códigos relevantes del American National Standards Institute, como por ejemplo el O1.1-2004: Woodworking Machinery Safety Requirements (Requisitos de seguridad para maquinaria para madera).

- Formar específicamente a los trabajadores en el uso seguro de los equipos de descortezado, troceado y otras máquinas
- Adaptar las estaciones de trabajo para minimizar los peligros de los fragmentos que pudieran saltar durante el corte y afectar a los humanos
- Inspeccionar y mantener regularmente los equipos para prevenir fallos en los mismos
- Dotar a todos los trabajadores que operen con equipos de corte de gafas de protección y, en caso necesario, otros EPP.

### Actividades de manipulación de troncos

Los troncos de madera se descargan por lo general de vagones o camiones pesados y se apilan mediante máquinas antes de ser trasladados a transportadores y muelles para su procesamiento en las fábricas de pasta. Las heridas causadas por el movimiento de vehículos en los almacenes de troncos pueden llegar a ser graves, además de las lesiones provocadas por el deslizamiento de troncos o por troncos que caigan desde los equipos de manejo o desplazados de las pilas de troncos.

Las recomendaciones para prevenir, minimizar y controlar las heridas en los almacenes de troncos incluyen<sup>17</sup>:

- Establecer y respetar las prácticas de seguridad durante la descarga de troncos, madera y astillas<sup>18</sup>
- Considerar la posibilidad de mecanizar todas las actividades de los almacenes de troncos para reducir el

contacto humano con los troncos durante las actividades de manipulación y apilamiento

- Demarcar claramente las rutas de transporte en el interior de las zonas de almacenamiento de troncos y controlar de forma estrecha el movimiento de vehículos
- Las pilas de troncos no deberían superar la altura definida mediante una evaluación de riesgo que tenga en cuenta las circunstancias específicas del emplazamiento, incluido el procedimiento de apilamiento<sup>19</sup>.
- Restringir el acceso a los almacenes de troncos al personal autorizado
- Los muelles de espera deben estar dotados de topes, cadenas u otros sistemas de protección que eviten que los troncos rueden fuera del muelle.
- Formar a los trabajadores en procedimientos de trabajo seguro en las zonas de apilamiento y depósito de los troncos, incluyendo evitar los troncos que puedan caer y planificar rutas de escape
- Proporcionar a los trabajadores botas protectoras con punta de acero, cascos y chaquetas de alta visibilidad
- Todos los equipos móviles dispondrán de alarmas acústicas de marcha atrás.

### Polvo de madera

La exposición al polvo de madera es un problema posible en aquellas áreas de las fábricas de pasta en que se manipula la madera (por ejemplo en las astilladoras semimecánicas), así como en las fases iniciales de la fabricación de pasta. En las fábricas de papel existe un riesgo de exposición al polvo de fibra. El polvo de fibra también plantea riesgos de incendio.

<sup>17</sup> Pueden consultarse técnicas específicas para la recepción y manipulación de troncos en US OSHA (2003), disponible en: <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/receive.html> y <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/sawmills/convey.html>

<sup>18</sup> Ver, por ejemplo, la normativa de la U.S. Occupational Health Administration (Administración de los Estados Unidos para la Salud Ocupacional) sobre carga y descarga de troncos, 29 Código Federal de Regulaciones (CFR) 1910.266(h)(6) y la Regla Administrativa de Oregón (OAR) 437-02-312.

<sup>19</sup> Las operaciones manuales de apilamiento suelen aplicar una altura máxima de apilamiento de 2 metros, mientras que las operaciones mecánicas pueden desarrollarse de forma segura a alturas superiores.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar el polvo incluyen:

- Cerrar y ventilar sierras, trituradoras, espolvoreadores y transportadores de astillas
- Considerar la posibilidad de almacenar las astillas en lugares cerrados
- Evitar el uso de aire comprimido para eliminar el polvo de madera y el papel residual
- Cerrar y ventilar aquellas áreas donde se descarguen, pesen o mezclen aditivos secos que generen polvo, o donde se utilicen aditivos en forma líquida
- Inspeccionar y limpiar regularmente las zonas con polvo para minimizar los riesgos de explosión del mismo.

### Agentes biológicos

Los agentes biológicos incluyen microorganismos como bacterias, hongos y virus, algunos de los cuales pueden ser patógenos. Los microorganismos se desarrollan principalmente en los sistemas de circuito cerrado de las máquinas de papel, las plantas de tratamiento biológico para las aguas residuales de las instalaciones y las torres de refrigeración de agua.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar la exposición a agentes biológicos incluyen:

- Diseñar plantas de tratamiento biológico para minimizar las posibilidades de crecimiento de organismos patógenos
- Utilizar biocidas en el agua de refrigeración y en los procesos de fabricación de pasta y papel para minimizar el crecimiento de microorganismos

### Calor

Muchas de las operaciones del proceso de fabricación de pasta, incluidas la cocción de pasta, la recuperación química de pasta,

la producción de cal y el secado de papel exigen altas temperaturas y, en ocasiones, altas presiones. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las medidas de protección frente al calor comunes a la mayoría de las operaciones industriales. Otras medidas para prevenir, minimizar y controlar la exposición al calor en las fábricas de pasta y papel incluyen:

- Dotar las instalaciones con estancias de control con aire acondicionado, incluyendo las áreas destinadas a la preparación de la madera, la fabricación de pasta, el blanqueo y la fabricación de papel
- Planificar el trabajo en las zonas de más calor de modo que haya períodos de aclimatación y descanso
- Automatizar la extracción de material fundido de la caldera de recuperación química. Proporcionar indumentaria protectora reforzada a los trabajadores potencialmente expuestos a materiales fundidos u otros materiales a temperaturas elevadas
- Implementar procedimientos de seguridad para minimizar las posibilidades de que se produzcan explosiones de fundido / agua. Se transferirá el material fundido a velocidades controladas, y la caldera de recuperación mantenida para evitar fugas de agua de las paredes tubulares de la caldera. Las operaciones de la caldera de recuperación química se interrumpirán en cuanto se advierta la presencia de fugas.
- Considerar la posibilidad de emplear equipos móviles con cabinas cerradas con aire acondicionado.

### Espacios reducidos

Las tareas de operación y, especialmente, las de mantenimiento, pueden implicar la entrada en espacios reducidos, como por ejemplo calderas, secadores, desgrasadores, digestores, depósitos de soplado y

conducciones, recipientes de proceso y de reacción, tanques y cubas. Los impactos y las medidas de mitigación asociados a la entrada en espacios reducidos se describen en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

### Ruido

Dos de las fuentes de ruido principales son el descortezado de la madera en las fábricas de pasta y la máquina de papel en las fábricas de papel, pero existen otros procesos que también pueden generar ruidos. La utilización de salas de control, como se ha visto más arriba, es un eficaz control de ingeniería. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen otras recomendaciones sobre el manejo del ruido en el lugar de trabajo.

### Radiación

Ciertos equipos de medición, particularmente en las fábricas de papel, contienen material radioactivo. Estas unidades están por lo general selladas, pero las averías o el mantenimiento de dispositivos que contienen material radioactivo podrían resultar en la exposición de los trabajadores. Estos dispositivos se diseñarán y operarán de acuerdo con los requisitos nacionales aplicables y las normas internacionalmente aceptadas para la exposición ocupacional<sup>20</sup> y/o natural<sup>21</sup> a la radiación ionizante, como por ejemplo "Normas básicas de seguridad para la protección contra las radiaciones ionizantes y el uso seguro de fuentes de radiación"<sup>22</sup> y sus tres Guías de Seguridad interrelacionadas. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** ofrecen recomendaciones adicionales para el manejo de la exposición a las radiaciones.

<sup>20</sup> Organizaciones que procesan o aplican sustancias radioactivas para fines médicos, procesos industriales, educación, capacitación, investigación, etc.

<sup>21</sup> Minas subterráneas (distintas de las minas de mineral radioactivo), zonas de protección especial, zonas proclives al radón, etc.

<sup>22</sup> Safety Series de la IAEA núm. 115.

## 1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

Las cuestiones relativas a la higiene y la salud en la comunidad durante las fases de construcción y desmantelamiento de las fábricas de pasta y papel son similares a las de la mayoría de las grandes instalaciones industriales, y su prevención y control se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

Los impactos para la salud y la seguridad comunitarias se producen principalmente durante la fase operacional de las plantas de pasta y papel e incluyen:

- Almacenamiento, utilización y transporte de sustancias químicas
- Olores
- Tráfico

### Almacenamiento, utilización y transporte de sustancias químicas

Los accidentes de envergadura pueden provocar fugas, incendios y explosiones durante las operaciones de fabricación o blanqueo de la pasta o durante la manipulación del producto y su transporte fuera de la planta de procesamiento. Las recomendaciones para el manejo de estas cuestiones se presentan más adelante y en las secciones relevantes de las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, incluido: Seguridad del tráfico, Transporte de Sustancias Peligrosas y Preparación y respuesta ante emergencias.

### Olores

La fabricación de pasta química, y el proceso de la pasta kraft en particular, genera compuestos de azufre reducido malolientes que pueden ocasionar molestias a los residentes de los alrededores. Los controles modernos de contaminación del



aire, descritos en la Sección 1.1, evitan los olores que antes se asociaban con las fábricas de pasta, aunque en condiciones de funcionamiento anómalo de las plantas todavía pueden producirse emisiones. Así pues, los proyectos de nuevas instalaciones deben tener en cuenta el emplazamiento y la distancia de la planta propuesta con respecto a las zonas residenciales u otras zonas comunitarias.

### Tráfico

Las fábricas de pasta y de papel requieren grandes cantidades de madera, ya sea en forma de troncos o de cortezas, y exportan un elevado volumen de productos. Estos materiales a menudo se transportan en camiones, lo que puede generar un aumento significativo del tráfico de camiones en la comunidad. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** describen las medidas relacionadas con la seguridad del tráfico.

## 2.0 Indicadores y seguimiento del desempeño

### 2.1 Medio ambiente

#### Guías sobre emisiones y efluentes

Los Cuadros 1(a) a 1(l) presentan las guías sobre efluentes y el Cuadro 2 las guías sobre emisiones para las fábricas de pasta y papel. Las cantidades pueden alcanzarse en condiciones normales de funcionamiento de instalaciones adecuadamente diseñadas y utilizadas mediante la aplicación de las técnicas de prevención y control de la contaminación que se han analizado en las secciones anteriores de este documento.

Las guías sobre efluentes representan valores medios anuales<sup>23</sup> y se aplican a los vertidos directos de efluentes tratados a

<sup>23</sup> Los valores diarios medios no deberían superar a los valores anuales medios en más de 2,5 veces.

aguas superficiales de uso general. Los niveles de vertido específicos del emplazamiento pueden establecerse basándose en la disponibilidad y condiciones de los sistemas de tratamiento y recolección de aguas de alcantarillado público o, si se vierten directamente a las aguas superficiales, basándose en la clasificación del uso del agua receptora que se describe en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Estos niveles deberán alcanzarse, sin dilución, al menos el 95% del tiempo que la planta o la instalación está en funcionamiento, calculado en proporción a las horas de funcionamiento en el curso de un año. La desviación de estos niveles debido a las condiciones locales específicas del proyecto deberá justificarse en la evaluación ambiental.<sup>24</sup>

Las guías sobre emisiones son aplicables a las emisiones de proceso. Las guías sobre emisiones procedentes de la combustión relacionadas con centrales de generación de vapor y energía a partir de fuentes con una capacidad igual o inferior a 50 MW se analizan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, y las guías sobre emisiones procedentes de centrales de mayor capacidad se analizan en las **Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para centrales térmicas**. En las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** se proporciona orientación acerca de consideraciones ambientales basadas en la carga total de emisiones.

<sup>24</sup> Las guías sobre efluentes se basan en la carga de producción (por ejemplo emisiones expresadas en kilogramos por tonelada producida de pasta o papel). En las fábricas de pasta y las fábricas de papel separadas (no integradas), los datos específicos (por ejemplo "kg/ton pasta seca al aire" o "kg/ton papel") es unambiguous. En una fábrica integrada, el indicador de emisiones suele expresarse como "kilogramos por tonelada de papel", que debería incluir las emisiones tanto de la fábrica de pasta como de la de papel. Si una fábrica integrada vende tanto papel como pasta, el indicador más relevante sería "kg/ton pasta total", donde "pasta total" es aproximadamente la suma del papel producido y la pasta comercializada.

## Uso de los recursos

El Cuadro 3 proporciona ejemplos del uso de los recursos y del consumo de agua en el sector de la pasta y el papel que pueden ser considerados como indicadores de la eficiencia del sector y utilizarse para supervisar los cambios en el funcionamiento a lo largo del tiempo. El consumo real de energía dependerá de la configuración del proceso, de los equipos que se empleen en el mismo y de la eficiencia en el control del proceso.

## Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. El seguimiento deberá recaer en individuos con formación, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

## 2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

### Guía sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional (TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)<sup>25</sup>, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)<sup>26</sup>, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)<sup>27</sup>, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea<sup>28</sup> u otras fuentes similares.

### Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas

<sup>25</sup> Disponibles en: <http://www.acgih.org/TLV/> y <http://www.acgih.org/store/>

<sup>26</sup> Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

<sup>27</sup> Disponibles en: [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992)

<sup>28</sup> Disponibles en: [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)

Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)<sup>29</sup>.

## Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados<sup>30</sup> como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

<sup>29</sup> Disponibles en: <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

<sup>30</sup> Los profesionales acreditados pueden incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

### 3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA): Final Pulp, Paper, and Paperboard "Cluster Rule".

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2002. Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2ª edición. EPA/310-R-02-002. Noviembre de 2002  
<http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/pulp.html>

Allan M. Springer, Ed.: Industrial Environmental Control – Pulp and Paper Industry, 3ª edición, Tappi Press, Atlanta, Ga., 2000

Comisión Europea. 2001. Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel. Diciembre de 2001.

Environment Canada. 2004. Regulations Amending the Pulp and Paper Effluent Regulations [embedding the Environmental Effects Monitoring requirements under Schedule IV]. Publicado en la Parte II de la *Canada Gazette* el 19 de mayo de 2004.

Finnish Environment Institute, A Strategic Concept for Best Available Techniques in the Forest Industry, 2001, URL:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=10759&lan=en>

Finnish Environment Institute, Continuum - Rethinking BAT Emissions of the Pulp and Paper Industry in the European Union, 2007. URL:  
<http://www.environment.fi/download.asp?contentid=65130&lan=en>

Organización Internacional del Trabajo, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. 4ª edición, capítulo 72, Industria del papel y de la pasta de papel, Peligros y controles en el trabajo, Riesgos profesionales y controles.

Regla Administrativa de Oregón (OAR) 437-02-312

Peter N. Williamson, Ed., Patti Turner, Techn. Ed.: Water Use and Reduction in the Pulp and Paper Industry – A Monograph, Canadian Pulp and Paper Association, 1994

Consejo para el Desarrollo de la Higiene y la Seguridad Ocupacional de la Industria de Papel Sueca (2005).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2006. Directrices provisionales editadas revisadas sobre mejores técnicas disponibles y orientaciones sobre las mejores prácticas ambientales relacionadas con el Artículo 5 y el Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. Grupo de Expertos sobre las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales.

Administración de los Estados Unidos para la Salud Ocupacional (U.S. Occupational Health Administration). Regulaciones para las fábricas de pasta, papel y cartón, 29 Código Federal de Regulaciones (CFR) 1910.261

## Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

Las principales fases en la fabricación de pasta y papel son: (a) la preparación de las materias primas (por ejemplo, el descortezado y troceado de la madera), (b) la fabricación de pasta, (c) el blanqueo de pasta y (d) la fabricación de papel, que se describen más abajo. Las fábricas de pasta y de papel pueden ser independientes o funcionar de forma integrada.

### Preparación de las materias primas<sup>31</sup>

La principal fuente de fibras de celulosa para elaborar productos de papel es la madera, aunque en aquellas zonas con un acceso limitado a recursos forestales, y especialmente en los países en desarrollo, también se utilizan otras fuentes de fibra como la paja, el bagazo, y el bambú. Para ciertas aplicaciones especiales se emplea como fuente de fibra algunas plantas no madereras, como el abacá, el algodón y el cáñamo.

La madera que se utiliza para fabricar la pasta puede llegar hasta la fábrica bajo formas diversas, como por ejemplo troncos, cortezas y serrín. En el caso de los troncos, éstos se cortan hasta obtener un tamaño manejable y a continuación se descortezan. En las fábricas de pasta integradas con instalaciones madereras, la madera aceptable se extrae durante esta fase. En estas instalaciones, toda la madera residual o de desecho procedente del procesamiento de la madera vuelve a incorporarse al proceso de troceado; los restos de madera rechazados pueden constituir una fuente significativa de madera en estas instalaciones.

La corteza de los troncos no aptos como madera suele eliminarse mediante procedimientos mecánicos (en un tambor de descortezado) con el fin de evitar la contaminación de las

operaciones de fabricación de la pasta<sup>32</sup>. La corteza puede ser quemada para producir energía, dependiendo de su contenido húmedo. En caso de no quemarse para producir energía, puede utilizarse como estiércol, cubierta vegetal del suelo, o para producir carbón vegetal. Normalmente, la corteza eliminada por procedimientos hidráulicos se recoge en un canal, se deshidrata y se prensa antes de ser quemada. El descortezado de la madera, y especialmente el descortezado hidráulico, genera aguas residuales que contienen nutrientes, fibras y compuestos orgánicos consumidores de oxígeno como ácidos resínicos, ácidos grasos, etc.

Ciertos procesos de fabricación de pasta mecánica, como la fabricación de pasta mecánica tradicional en piedra, utilizan troncos; sin embargo, la mayoría de las operaciones de fabricación de pasta requieren astillas de madera. Para que los procesos sean eficientes y la pasta sea de calidad, es necesario que el tamaño de las astillas sea homogéneo (generalmente, de 20 mm de longitud y 4 mm de grosor). Las astillas se colocan en un conjunto de tamices vibratorios para eliminar las que son demasiado grandes o demasiado pequeñas. Las astillas grandes permanecen en los tamices superiores y se reenvían para volver a cortarlas, mientras que las astillas pequeñas se queman por lo general con la corteza o se venden para otros fines.

Las fibras no madereras se manipulan en función de su composición específica con el fin de minimizar la degradación de las fibras y maximizar así el rendimiento de la pasta. Los materiales no madereros suelen manejarse en balas.

<sup>31</sup> Información adaptada de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2ª edición, EPA/310-R-02-002, noviembre de 2002).

<sup>32</sup> El descortezado hidráulico, que utiliza chorros de agua a alta potencia, se considera obsoleto e indeseable desde el punto de vista ambiental debido a los elevados niveles de DBO generados en el efluente.

## Procesos de fabricación de pasta

Los componentes más importantes de la materia prima vegetal son las fibras de celulosa, las hemicelulosas y la lignina, un aglutinante natural que mantiene unidas las fibras de celulosa en la madera o en los tallos de las plantas. En el proceso de fabricación de pasta, las materias primas que contienen celulosa (es decir, las materias primas vegetales o el papel reciclado) se disuelven para liberar sus fibras individuales, conocidas como pasta. Los procesos de fabricación de pasta se dividen en términos generales en dos tipos: químicos y mecánicos. La fabricación de pasta química utiliza principalmente reactivos químicos y energía calorífica para ablandar y disolver la lignina de las astillas de madera, aplicando a continuación un proceso de refinador mecánico para separar las fibras. El proceso de fabricación de pasta mecánico requiere a menudo algún tipo de tratamiento previo de la madera con calor por vapor y/o una solución química débil, pero emplea fundamentalmente equipos mecánicos para reducir la madera a materiales fibrosos mediante el refinado o el desfibrado abrasivo. Cada tipo de proceso da lugar a una pasta de características específicas y adecuada para diferentes usos finales.

### *Fabricación de pasta química a partir de madera*

Los principales procesos de fabricación de pasta química son la fabricación de pasta al sulfito (o kraft) alcalina, sulfito ácido y semiquímica. El proceso de la pasta kraft representa aproximadamente el 80% de la producción mundial de pasta en la actualidad y prácticamente todas las nuevas instalaciones. En comparación con los procesos de fabricación de pasta mecánica, la pasta kraft y la pasta de sulfito suelen tener un mayor valor de mercado y unos costos de producción también superiores porque la calidad de sus fibras es más uniforme, generalmente con menos lignina u otros componentes de

madera y proporcionalmente más fibras de celulosa y fibras más intactas. Las pastas kraft y de sulfito son más fáciles de blanquear para obtener el brillo y blancura deseables en muchos productos de papel, y la pasta kraft normalmente produce hojas de papel o cartulina más resistentes.

### Proceso de la pasta kraft

El proceso de fabricación de la pasta kraft representa alrededor del 80 por ciento de la producción mundial de pasta<sup>33</sup>. El proceso de la pasta kraft se ha convertido en el método dominante de fabricación de pasta química por la mayor resistencia de las fibras en comparación con el proceso de la pasta al sulfito, su aplicabilidad a todos los tipos de madera y la posibilidad de recuperar eficientemente las sustancias químicas empleadas.

En el proceso de la pasta kraft, las astillas de madera se combinan en un digestor con licor blanco, una solución acuosa compuesta principalmente de sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) e hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) que descompone la lignina y, en menor medida, las hemicelulosas bajo una elevada temperatura y una elevada presión, liberando las fibras de celulos (pasta). Tras la digestión, el licor negro resultante, que contiene sustancias orgánicas disueltas, se separa de la pasta, obteniéndose así la llamada pasta cruda. La pasta cruda se trata con oxígeno en presencia de hidróxido de sodio para eliminar parte de la lignina residual en un proceso que se conoce como deslignificación con oxígeno. Posteriormente, la pasta cruda se blanquea (tal y como se describe más abajo) para lograr el grado de brillo, resistencia y puridad deseado del producto de pasta final.

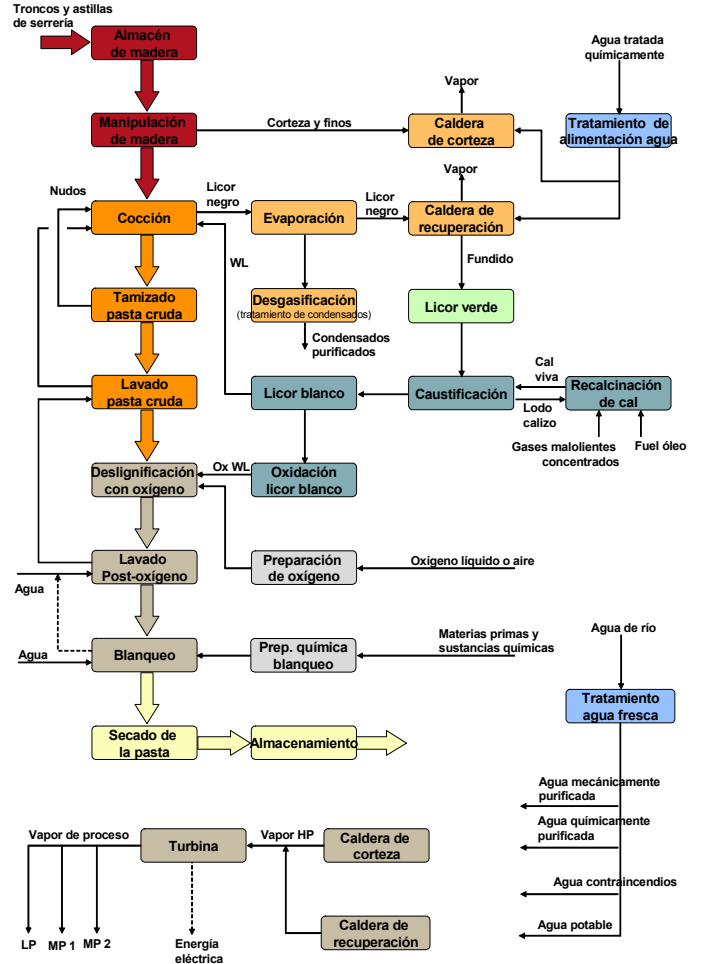
<sup>33</sup> Comisión Europea, Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel, diciembre de 2001.

Las sustancias químicas se recuperan a través de lo que se conoce como el ciclo del licor. El licor negro suele concentrarse mediante la evaporación del agua y quemarse posteriormente en un horno de recuperación. Este horno destruye los componentes orgánicos y genera calor que a su vez se emplea para generar vapor para otras actividades de la planta. En el fondo de la caldera de recuperación se forma una mezcla de sal fundida que consiste principalmente en carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y sulfuro sódico. Este material se disuelve en una solución acuosa, formando licor verde. En el caustificador se añade cal ( $\text{CaO}$ ) al licor verde, lo que vuelve a convertir el carbonato de sodio en hidróxido de sodio y forma licor blanco que es empleado de nuevo en los digestores. El lodo calizo, compuesto principalmente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), también se genera en el caustificador. El lodo calizo se convierte de nuevo en cal mediante su calentamiento en el horno de cal.

La mayor parte de las corrientes líquidas del proceso de la pasta kraft se reutilizan en las operaciones de fabricación de pasta o, en el caso de la pasta blanqueada, en la planta de blanqueo. Los efluentes líquidos generados por la preparación de la pasta cruda suelen limitarse a pequeñas cantidades de condensados y derrames. Las emisiones gaseosas incluyen dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de azufre reducido, óxidos de nitrógeno y material particulado.

El Gráfico 1 muestra un proceso de la pasta kraft típico (incluidos los procesos de blanqueo, descritos más abajo)

**Gráfico 1. El proceso de fabricación de pasta kraft**



**Proceso de la pasta al sulfito**

El proceso de la pasta al sulfito se basa en el uso de dióxido de azufre acuoso y una base. La base utilizada afecta a las condiciones del proceso, a la recuperación química y de energía, al uso de agua y a las propiedades de la pasta. Se han utilizado como base el calcio, el sodio, el magnesio y el amonio,

aunque el proceso de la pasta al sulfito dominante es el basado en magnesio: el proceso de la pasta al sulfito basado en sulfato de calcio se considera en la actualidad inaceptable desde el punto de vista ambiental para las nuevas plantas. Las bases de sodio y amonio prácticamente no se utilizan debido a sus mayores costos. Aunque la base de calcio es relativamente barata, los agentes de cocción químicos no pueden recuperarse y deben descargarse, y por lo general no suele emplearse en las instalaciones nuevas.

La pasta al sulfito es más fácil de blanquear que la pasta kraft, que permite el blanqueo TCF (ver Blanqueo, abajo), y el proceso de la pasta al sulfito produce menos gases malolientes y tiene un rendimiento material superior que el proceso de la pasta kraft. Sin embargo, debido a la mayor debilidad de las fibras y a la deficiente tecnología de recuperación (aparte de la base de magnesio), el proceso al sulfito no ha sido competitivo y a menudo ha generado más efluentes de agua. Otras limitaciones significativas del proceso son su consumo neto de energía, mucho más elevado que el de los procesos kraft, y las restricciones de uso de ciertas especies de madera (por ejemplo madera de pino), lo que limita la base de materias primas que puede emplear. Por estas razones, la mayoría de las plantas de pasta química nuevas emplean procesos kraft.

### **Proceso de la pasta semi-químico**

En el proceso de la pasta semi-químico, las astillas de madera son parcialmente digeridas para ablandar la unión entre las fibras, y a continuación se tratan mecánicamente en un refinador, que utiliza la acción mecánica para separar las fibras. El proceso de fabricación de pasta semimecánico produce pasta de gran rigidez que se emplea frecuentemente para la fabricación de cartón corrugado. El proceso de fabricación de pasta semi-química más común es el proceso de fabricación de pasta semi-química al sulfito neutro (NSSC). Otros procesos de

fabricación de pasta semi-química utilizados son la cocción alcalina con licor de hidróxido de sodio (cocción con soda) o con licor de sulfato modificado.

El rendimiento del proceso de la pasta semi-química oscila entre el 55 y el 90 por ciento, dependiendo del procedimiento utilizado; sin embargo, el contenido residual en lignina de la pasta también es elevado, de modo que el blanqueo resulta más difícil que en los procesos de pasta química kraft o de sulfito. Debido a que las condiciones de proceso son menos estrictas que la pasta química kraft y al sulfito y a que las pastas semi-químicas no suelen ser blanqueadas, los procesos son relativamente sencillos. Además, la fabricación de pasta semi-química requiere menos agentes químicos que la fabricación de pasta química Kraft y al sulfito.

Como los licores de cocción de los procesos semi-químicos contienen menores concentraciones de sustancias orgánicas que los procesos kraft y de sulfito, la recuperación química es más costosa, y algunas plantas de fabricación de pasta semi-química tratan y descargan el licor usado sin recuperar las sustancias químicas de proceso. Dado que la eficiencia del proceso de recuperación es inferior, las aguas residuales no tratadas de las fábricas semi-químicas tienden a estar más concentradas que las de las plantas de fabricación kraft.

### ***Proceso de fabricación de pasta mecánico basado en madera***

Entre los procesos de fabricación de pasta mecánicos se encuentran el proceso de fabricación de pasta termomecánico (TMP), el proceso de fabricación de pasta químicotermomecánico (CTMP) y el proceso de fabricación de pasta mecánica, entre otras variantes. Los procesos TMP y CTMP implican la conversión de las astillas de madera en pasta mediante refinados de discos mecánicos, normalmente tras tratar



previamente las astillas con vapor y/o soluciones químicas débiles. El proceso mecánico original consiste en la trituración de leños de madera (troncos pequeños) en pasta en una amoladera.

El proceso de fabricación de pasta mecánico exhibe un alto rendimiento, pero la desintegración mecánica exige grandes cantidades de energía eléctrica para los procesos de refino. Las fábricas de pasta mecánica suelen emplearse para producir papel de impresión y papel para escritura que requieren una elevada opacidad y una buena absorción de tinta, y para ciertos tipos de cartulina hechos con pastas de mayor volumen y más baratas. El proceso CTMP también puede emplearse para fabricar papel tisú y pastas de pelusa.

#### ***Proceso de fabricación de pasta termomecánico (TMP)***

Antes del proceso de fabricación de pasta termomecánico, las astillas de madera suelen lavarse con el fin de eliminar las piedras, la arena, restos metálicos u otros cuerpos extraños duros que pueden desgastar o dañar las placas del refinador. Las astillas lavadas y tamizadas se precalientan con vapor y a continuación se refinan bien en una sola fase a una elevada temperatura y presión, o bien en un proceso de refino en dos fases en que la primera fase es seguida por una segunda fase de refino bajo presión o a presión atmosférica. El desfibrado de los rechazos de tamizado suele llevarse a cabo en el refino de la segunda etapa. La aplicación de más energía mecánica en lugar de la disolución química produce una fragmentación más pronunciada de la fibra y la formación de material fino. Las fábricas de TMP suelen utilizarse casi siempre para fabricar papel de periódico.

Una gran parte de la comparativamente elevada cantidad de energía eléctrica necesaria para la fabricación de pasta mecánica por refino se convierte en calor como vapor que se

evapora de la humedad de la madera y del agua de dilución de los refinados. Debido a las condiciones presurizadas (sobrepresiones de hasta 5 bares), un volumen significativo del vapor generado puede ser recuperado y utilizado para producir vapor de proceso limpio (por ejemplo, para el secado de papel). Parte de la energía puede también recuperarse como agua caliente.

Como materia prima se prefiere la madera fresca. Si la madera para el desfibrado termomecánico se almacena, para evitar que se seque suele almacenarse en agua o tratarse con aspersión. Así pues, es posible que sea necesario disponer de sistemas de recolección de agua en los almacenes de madera para evitar la descarga de agua que pueda contener sustancias orgánicas. Parte de las sustancias orgánicas de la madera se disuelven en agua y se descargan del proceso de fabricación de la pasta. Sin embargo, como la pérdida de madera durante la fabricación de pasta termomecánica es muy pequeña y la mayor parte de la madera se convierte en pasta, el valor calorífico de las aguas residuales de las plantas de fabricación de pasta termomecánica es demasiado bajo como para ser recuperado de la misma forma en que se hace en las plantas de pasta química (por ejemplo, licor negro). Así pues, en las plantas TMP es necesario el tratamiento de los efluentes.

#### ***Proceso de fabricación de pasta químicotermomecánico (CTMP)***

El proceso CTMP combina el proceso TMP con una impregnación química de las astillas de madera. Las astillas de madera ya lavadas y tamizadas se sumergen en una solución química alcalina en una torre de impregnación. El sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) se usa principalmente para las maderas blandas, mientras que para las maderas duras se emplea principalmente peróxido alcalino. Tras la impregnación química, las astillas son precalentadas y su temperatura aumenta más

en los refinados de 1-2 etapas. Por razones similares a la pasta TMP, la pasta CTMP se produce de forma integrada con una fábrica de papel o cartón; sin embargo, la pasta CTMP también se fabrica como pasta comercial.

La combinación de calor y sustancias químicas ablanda la lignina y facilita la liberación de las fibras de celulosa, lo que permite obtener una pasta de mayor resistencia y rigidez, pero reduce el rendimiento y, por lo tanto, genera un mayor volumen de contaminantes que el proceso TMP. Como en el caso del proceso TMP, las aguas de proceso pueden ser recuperadas de forma económica, y los residuos se descargan tras ser tratados.

El proceso CTMP empleaba en un inicio principalmente madera de abeto, pero en la actualidad se aplica también a fibras cortas de baja densidad, como la madera de haya. El CTMP se utiliza para fabricar papel tisú, cartulina y pastas de pelusa, pero las fibras de haya se emplean cada vez en mayor medida para el papel de impresión y de escritura, con menores costos que las pastas químicas.

#### ***Fabricación de pasta mecánica***

En la fabricación de pasta mecánica, el desfibrado inicial se produce en muelas forzando los troncos contra muelas giratorias especiales con las fibras de madera paralelas al eje de la muela. La mayor parte de la energía empleada en el proceso de desfibrado se transforma en calor, lo que ayuda a ablandar las uniones de lignina y a liberar las fibras de celulosa. Las muelas se someten a una ducha de agua para disipar el calor, reducir la fricción y transportar las fibras a las etapas de proceso siguientes.

En el proceso de desfibrado a presión (PGW), el proceso de desfibrado tiene lugar a sobrepresión (hasta unos 3 bares), lo que permite que el proceso se lleve a cabo a temperaturas más elevadas. Estas mayores temperaturas permiten un ablandado

más intensivo de la lignina y mejoran la calidad de la pasta (por ejemplo, mayor resistencia), pero los requisitos técnicos y económicos son considerablemente mayores. Cuando se despresuriza la pasta se genera vapor de baja presión. El vapor de baja presión recuperado suele utilizarse para producir agua de proceso caliente.

Un método relativamente económico para mejorar la calidad de la pasta mecánica es el proceso termodinámico (TGW). En este proceso, las pérdidas de calor derivadas de la evaporación en la zona de desfibrado son menores y la temperatura de proceso se optimiza con controladores de estabilidad en lugar de con una presión mayor.

#### ***Fabricación de pasta con fibras recicladas (RCF)***

El papel recuperado se ha convertido en una fuente cada vez más importante de fibra para la fabricación de papel. En la actualidad, casi un 50 por ciento de las fibras empleadas como materia prima para la elaboración de papel se basa en fibras recicladas<sup>34</sup>. En el proceso de reciclado, el papel o cartón reciclado se rehmedece y reduce a pasta, principalmente a través de procedimientos mecánicos. La tinta, los adhesivos y otros contaminantes pueden eliminarse mediante el destintado químico y la separación mecánica. Como las fibras del papel y el cartón reciclados se secan completamente para después volverse a humedecer, suelen tener unas propiedades físicas distintas de las fibras de pasta de madera virgen. En algunos casos, las fábricas que emplean papel reciclado, sin destintado, pueden funcionar sin verter ningún efluente gracias a la utilización de ciclos cerrados de agua junto con pequeños sistemas biológicos anaerobios o aerobios para eliminar algunos compuestos orgánicos disueltos de las aguas

<sup>34</sup> Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA), Sector Notebook Project, Profile of the Pulp and Paper Industry, 2ª edición, EPA/310-R-02-002, noviembre de 2002.

reciclad. Los procesos de ciclo cerrado son prácticos en aquellas situaciones en que el producto puede tolerar cierto grado de suciedad y contaminación, como ocurre en ciertos tipos de papel de envasado y construcción. En algunas plantas de reciclado, de un 30 a un 40% aproximadamente de las materias primas procesadas generan lodos que deben ser manejados como residuos sólidos.

### **Sin destintado**

El procesamiento de papel recuperado sin destintado es suficiente para aquellas aplicaciones que no exigen un brillo elevado, como por ejemplo cartón corrugado, cartón y ciertos tipos de papel tisú.

### **Con destintado**

Los procesos de destintado se utilizan para eliminar la tinta y lograr así una pasta de aspecto más brillante y limpio. En ocasiones se aplica también un proceso de blanqueo tras el destintado. Las fibras recicladas con destintado se emplean para productos que requieren un mayor brillo, como el papel de periódicos o revistas y el papel tisú.

Las aguas de proceso son similares a las que generan los sistemas sin destintado. Sin embargo, el destintado genera rendimientos más bajos y exige tratamientos internos adicionales. El rendimiento de la pasta puede llegar a ser sólo de un 60 a 70 por ciento del papel recuperado incorporado al proceso; así pues, hasta un 30-40 por ciento del material incorporado al proceso puede penetrar en el agua blanca y debe tratarse y eliminarse antes de proceder a la descarga de las aguas residuales.

### ***Fabricación de pasta basada en materias primas distintas a la madera***

Las fuentes no madereras representan alrededor del seis por ciento del suministro total de fibra para la fabricación de papel en el mundo. Las fibras no madereras se extraen de fibras agrícolas como la paja y de fibras de otras plantas, como el bambú, el bajazo (residuos del refinado de caña de azúcar), y cultivos anuales de fibra como el kenaf. En general, las fibras de plantas no madereras son más costosas de recoger y de procesar que la fibra de madera en aquellas regiones del mundo en que el suministro de madera es adecuado, de modo que en la mayoría de las regiones del mundo la pasta se fabrica casi exclusivamente a partir de fibras de madera. Sin embargo, el volumen de producción de pasta a partir de especies no madereras es sustancial especialmente en regiones de Asia y África, donde la fibra de madera es relativamente menos abundante y se dispone de fibras de materiales no madereros.

### **Bagazo, paja, caña, etc.**

La mayoría de las fibras no madereras son relativamente cortas, parecidas a las fibras que se extraen de la madera dura y, por lo tanto, aptas para aplicaciones similares, como por ejemplo el papel de escritura. Sin embargo, las fibras no madereras también se utilizan con frecuencia para fabricar otros tipos de papel, como por ejemplo, el papel prensa y el cartón corrugado, simplemente porque no existe en la zona maderera para fabricar pasta.

Las especies no madereras cuecen por lo general más rápidamente que las astillas de madera. Así pues, la cocción kraft suele ser sustituida por la cocción con soda (hidróxido de sodio únicamente) y la carga suele ser menor. La concentración de sustancias orgánicas disueltas y agentes químicos de proceso en los licores usados suele ser menor que en la fabricación de pasta química a partir de madera, lo que

incrementa los costos de la recuperación química. Además, las plantas no madereras suelen ser pequeñas y producir menos de 100.000 t/año de pasta, por lo que carecen de las economías de escala que hacen que las inversiones ambientales sean rentables en las instalaciones de mayor tamaño. La consecuencia de ello es que muchas de las plantas que fabrican pasta a partir de especies no llevan a cabo la recuperación de las sustancias químicas (o sólo en pequeña medida) y generan un nivel de emisiones residuales por tonelada de producto sustancialmente mayor que las fábricas kraft modernas.

Las plantas no madereras suelen contener una mayor cantidad de sílice que la madera. El sílice plantea problemas en la fase de recuperación química y además perjudica la calidad del papel. En particular, el sílice aumenta las incrustaciones en los evaporadores de licor y reduce la eficiencia tanto de la operación de caustificación como de la conversión del lodo calizo (carbonato de calcio) en óxido de calcio (cal viva) en el horno de cal. Para contrarrestar estos efectos, las plantas de fabricación de pasta a partir de materia no maderera suelen descargar mayores proporciones de lodo calizo y compran mayores cantidades de cal o caliza como producto de adición.

### **Algodón y otras fibras largas**

Ciertas fibras que no proceden de la madera poseen propiedades especiales y valiosas para la elaboración de productos especiales. Así, por ejemplo, las pelusas de algodón, el cáñamo, el lino y las fibras de abacá son largos y útiles para productos como el papel para documentos con marcas de agua, papeles de seguridad, billetes de banco, bolsas de té, etc. La producción de estos productos especiales es pequeña y, por consiguiente, su posible impacto ambiental no preocupa en exceso.

## **Blanqueo**

El blanqueo es todo proceso utilizado para modificar químicamente la pasta con objeto de aumentar su brillo. Las pasta blanqueadas permiten obtener un papel más blanco, más brillante, más suave y más absorbente que las pasta sin blanquear. Las pastas blanqueadas se utilizan para fabricar productos de elevada pureza que no amarilleen (por ejemplo papel de impresión o de escritura). La pasta blanqueada suele utilizarse para fabricar cartón para cajas, cartulina y papel para bolsas.

Todas las clases de pulpa pueden blanquearse, pero el tipo o tipos de fibra, la clase de proceso de fabricación de pasta, y la calidad y uso final deseados del producto final influyen considerablemente en el tipo y grado de blanqueo posible. El contenido en lignina de la pasta es el factor principal que determina sus posibilidades de blanqueo. Las pastas con un elevado contenido en lignina (como la pasta mecánica o semiquímica) son difíciles de blanquear completamente y exigen emplear agentes químicos fuertes. El blanqueo excesivo de la pasta mecánica y semiquímica genera pérdidas de pasta debido a la destrucción de fibras. Las pastas químicas pueden ser blanqueadas en mayor medida debido a su bajo contenido en lignina (10 por ciento).

Mientras que la designificación puede llevarse a cabo en sistemas de aguas cerrados, las plantas de blanqueo suelen descargar sus efluentes en sistemas de tratamiento externos. Los efluentes procedentes de la planta de blanqueo no son fáciles de reincorporar a la recuperación de químicos, principalmente porque aumentaría la formación de cloruros y otros elementos inorgánicos no deseados en el sistema de recuperación química, lo que podría causar corrosión, incrustaciones y otros problemas.

### ***Pasta química***

Las sustancias químicas más frecuentemente empleadas para el blanqueo de la pasta química son el dióxido de cloro, el oxígeno, el ozono y el peróxido de hidrógeno. El ácido peracético está disponible en el mercado como agente blanqueador desde hace pocos años. El cloro y el hipoclorito han sido en buena medida desplazados como principales agentes químicos blanqueadores durante los últimos años. El cloro, en pequeñas cantidades, es un subproducto en la mayoría de los sistemas de generación de dióxido de cloro, y al menos una parte del mismo estará presente cuando el dióxido de cloro se utilice en el blanqueo. El dióxido de cloro y el ozono tienen que ser producidos en el emplazamiento, mientras que el peróxido, el oxígeno y el álcali pueden ser transportados desde el exterior hasta las fábricas. El ozono es un agente blanqueador muy reactivo, mientras que el dióxido de cloro, el oxígeno y el peróxido de oxígeno son menos reactivos.

La introducción de la cocción ampliada y la deslignificación con oxígeno se han traducido en una recuperación más eficaz de sustancias orgánicas y ha permitido el desarrollo y la utilización de productos químicos distintos del cloro para el blanqueo, reduciendo de este modo de forma significativa el volumen total de compuestos orgánicos y la cantidad total de compuestos orgánicos clorados que se generan durante el blanqueo. El tratamiento enzimático previo al blanqueo puede también mejorar la eficacia de los agentes químicos blanqueadores utilizados, pero, por lo general, va asociado a una pequeña pérdida de rendimiento.

En blanqueo consiste por lo general en una secuencia de cuatro o cinco etapas distintas. En cada fase se añaden distintos productos químicos, alternándose normalmente fases ácidas y fases alcalinas. Cada una de las fases de blanqueo consta de

dispositivos para mezclar los productos químicos y la pasta, un reactor de blanqueo diseñado con un tiempo de permanencia adecuado para las reacciones químicas y un equipo de lavado para separar los productos químicos usados, la lignina eliminada y otras materias disueltas de la pasta.

Los dos principales procedimientos de blanqueo que se utilizan son el blanqueo ECF (Libre de Cloro Elemental—no se aplica nada de cloro molecular o gaseoso en el blanqueo) y el blanqueo TCF (Totalmente Libre de Cloro). El blanqueo ECF utiliza dióxido de cloro y álcali para la extracción de la lignina disuelta, y peróxido y oxígeno para reforzar las fases de extracción. El blanqueo TCF utiliza oxígeno, ozono o ácido peracético, y peróxido con álcali para la extracción de la lignina. En las fábricas de pasta kraft se emplean ambos métodos de blanqueo, aunque el blanqueo ECF es más común.

### ***Pasta mecánica***

El blanqueo de pasta mecánica se basa en métodos de ahorro de lignina y es fundamentalmente diferente del blanqueo de pastas químicas, que se basa en la eliminación de la lignina. El blanqueo de pastas mecánicas cambia los grupos cromóforos de los polímeros de la lignina a una forma incolora. Así pues, el blanqueo de pasta mecánica básicamente aumenta el brillo de la pasta con pérdidas mínimas de sólidos secos y de la producción global. El efecto no es permanente, y el papel amarillea con el tiempo. Dado que la ganancia en brillo no es permanente, la pasta mecánica blanqueada es más apropiada para la elaboración de papel de periódico y revistas que para el papel de libros o papeles de archivo.

El blanqueo con ahorro de lignina se lleva a cabo en dos etapas, dependiendo de los requisitos de brillo final de la pasta. Las etapas de blanqueo se distinguen entre sí en función del agente de blanqueo aplicado.

El blanqueo reductor utiliza hidrosulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), que no disuelve el material orgánico de la pasta y por lo tanto sólo provoca una pérdida de rendimiento mínima. El hidrosulfito residual de la pasta puede causar la corrosión de los componentes metálicos aguas abajo del proceso. En la mayoría de las plantas se utiliza un agente quelante de metales (por ejemplo EDTA, DTPA) para evitar la degradación del hidrosulfito.

El blanqueo oxidante utiliza peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). El blanqueo con peróxido reduce el rendimiento en aproximadamente un 2 por ciento, principalmente debido a la alcalinidad durante el blanqueo, que provoca cierta disolución de sustancias orgánicas en la madera (y un incremento de la carga contaminante). El blanqueo con peróxido también mejora la resistencia y la capacidad de absorción de agua de la pasta. El proceso de blanqueo obtiene un menor brillo si se produce en presencia de iones de metales pesados; por esta razón, suelen añadirse los agentes quelantes (por ejemplo EDTA, DTPA) antes del blanqueo para formar complejos con metales pesados (por ejemplo, Fe, Mn, Cu, Cr), lo que evita que la pasta se decolore y que el peróxido se descomponga. El EDTA y el DTPA contienen nitrógeno, que penetra en las aguas residuales. La introducción de una fase de lavado entre la fabricación y el blanqueo de la pasta es eficaz para reducir los metales problemáticos y, por lo tanto, para reducir la cantidad de agentes quelantes necesarios y mejorar la eficacia del peróxido aplicado. La pasta blanqueada se acidifica con ácido sulfúrico o con dióxido de azufre hasta un pH de 5 - 6.

## Fabricación de papel

Una vez finalizado el proceso de fabricación de la pasta (y el del blanqueo, en su caso), la pasta acabada se procesa en el material utilizado para la fabricación de papel. En esta fase, la

pasta comercial, que se traslada al exterior hasta las fábricas de papel o cartulina, simplemente se seca y se recoge en balas. El proceso de fabricación de pasta en las fábricas integradas incluye la mezcla de pasta específica para el producto de papel que se quiere fabricar, la dispersión en agua, batido y refino para añadir densidad y resistencia, y el añadido de los aditivos húmedos necesarios. Los aditivos húmedos se utilizan para obtener productos de papel de propiedades especiales o para facilitar el proceso de fabricación del papel. Los aditivos húmedos incluyen resinas y ceras para la repelencia al agua; cargas como arcillas, sílices y talco; colorantes orgánicos e inorgánicos para dar color; y ciertas sustancias químicas inorgánicas (por ejemplo, sulfato de calcio, sulfuro de cinc y dióxido de titanio) para mejorar la textura, la calidad de impresión, la opacidad y el brillo.

La pasta procesada se convierte en papel mediante máquinas de producción de papel, de las cuales la más es la máquina de papel Fourdrinier. En el sistema Fourdrinier, la pasta en disolución se deposita en una cinta de tela móvil que la transporta a través de las primeras fases del proceso. El agua se elimina mediante gravedad, cámaras de vacío y rodillos de vacío. El exceso de agua se recicla en la fase de recuperación de fibras del proceso debido a su elevado contenido en fibra. A continuación, la hoja continua de papel se prensa entre una serie de cilindros para eliminar más agua y comprimir las fibras.

Una vez prensada, la hoja entra en una sección de secado donde las fibras de papel empiezan a unirse a medida que unos cilindros calentados con vapor comprimen las hojas. En el proceso de calandrado, la hoja pasa entre rodillos prensores para reducir el grosor del papel y obtener una superficie lisa. En este punto el papel puede estucarse para mejorar el brillo, el color, la calidad de impresión y la blancura. Los estucos más ligeros se aplican en máquina, mientras que los más pesados

se aplican fuera de máquina. Por último, el producto de papel se enrolla para su almacenamiento.

## Anexo B – Guías sobre efluentes y emisiones / Valores de referencia sobre uso de los recursos

**Cuadro 1 (a)—Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel—fábricas de pasta kraft blanqueada, integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	50
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	1,5
DQO	kg/Adt	20
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	1
AOX	kg/Adt	0,25
N total	kg/Adt	0,2 <sup>b</sup>
P total	kg/Adt	0,03

**Cuadro 1 (b)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel—fábricas de pasta kraft sin blanquear, integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	25
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	1,0
DQO	kg/ADt	10
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	0,7
N total	kg/ADt	0,2
P total	kg/ADt	0,02

**Cuadro 1 (c)—Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel de sulfito— fábricas de pasta de sulfito, integradas y no integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	55 <sup>d</sup>
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	2,0
DQO	kg/Adt	30 <sup>c</sup>
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	2,0
AOX	kg/Adt	0,005
N total	kg/Adt	0,5
P total	kg/Adt	0,05

**Cuadro 1 (d)— Guías sobre efluentes para las fábricas CTMP**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	20
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	1,0
DQO	kg/ADt	5
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	1,0
N total	kg/ADt	0,2
P total	kg/ADt	0,01



**Cuadro 1 (e)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel— Fábricas de pasta mecánica, integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	20
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	0,5
DQO	kg/Adt	5,0
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	0,5
AOX	kg/Adt	0,01
N total	kg/Adt	0,1
P total	kg/Adt	0,01

**Cuadro 1(f)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel —Fibras recicladas, sin destintado, integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	10
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	0,15
DQO	kg/ADt	1,5
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	0,15
AOX	kg/ADt	0,005
N total	kg/ADt	0,05
P total	kg/ADt	0,005

**Cuadro 1(g)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel — Fibras recicladas, con destintado, integradas**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	15
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	0,3
DQO	kg/Adt	4,0
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	0,2
AOX	kg/Adt	0,005
N total	kg/Adt	0,1
P total	kg/Adt	0,01

**Cuadro 1 (h)—Guías sobre efluentes para las Fábricas de pasta y papel—Fibra reciclada Fábricas de papel tisú**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	25
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	0,4
DQO	kg/ADt	4,0
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	0,5
AOX	kg/ADt	0,005
N total	kg/ADt	0,25
P total	kg/ADt	0,015

**Cuadro 1 (i)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel — Fábricas de papel fino sin estucar**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	15
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	0,4
DQO	kg/Adt	2,0
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	0,25
AOX	kg/Adt	0,005
N total	kg/Adt	0,2
P total	kg/Adt	0,01

**Cuadro 1 (j)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel — Fábricas de papel fino estucado**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	15
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	0,4
DQO	kg/ADt	1,5
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	0,25
AOX	kg/ADt	0,005
N total	kg/ADt	0,2
P total	kg/ADt	0,01

**Cuadro 1 (k)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel — Fábricas de papel tisú**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /Adt	25 k
pH		6 – 9
SST	kg/Adt	0,4
DQO	kg/Adt	1,5
DBO <sub>5</sub>	kg/Adt	0,4
AOX	kg/Adt	0,01
N total	kg/Adt	0,25
P total	kg/Adt	0,015

**Cuadro 1 (l)— Guías sobre efluentes para las fábricas de pasta y papel —Preparación de fibra, especies no madereras**

Parámetro	Unidades	Valor de las guías
Caudal <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	50
pH		6 – 9
SST	kg/ADt	2,0
DQO	kg/ADt	30
DBO <sub>5</sub>	kg/ADt	2,0
N total	kg/ADt	0,5
P total	kg/ADt	0,05

Fuentes: Comisión Europea. 2001. *Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel*. Diciembre de 2001; y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. *Effluent Guidelines for the Pulp, Paper, and Paperboard Point Source Category, 40 CFR Part 430*.

Notas:

kg/ADt = kilogramos de contaminante por cada 1.000 kg de pasta seca al aire  
a El agua de refrigeración y otras aguas limpias se descargan por separado y no están incluidas aquí.

b Toda descarga de nitrógeno asociada al uso de agentes complejantes debe añadirse a la cifra de N total.

c Dado el mayor número de kappa presente después de la cocción durante el proceso de fabricación de pasta magnefite, el nivel asociado a las MTD es 35 kg DQO/ADt.

d No incluye el agua de proceso de la fábrica de papel en las fábricas de pasta de sulfito.

**Cuadro 2—Guías sobre emisiones para las fábricas de pasta y papel**

Parámetro	Tipo de fábrica	Unidades	Valor de las guías
TSP	Kraft, blanqueada	kg/ADt	0,5
	Kraft, sin blanquear—Integrada	kg/ADt	0,5
	De sulfito, integrada y no integrada	kg/ADt	0,15
SO <sub>2</sub> como S	Kraft, blanqueada	kg/ADt	0,4
	Kraft, sin blanquear—Integrada	kg/ADt	0,4
	De sulfito, integrada y no integrada	kg/ADt	1,0
NO <sub>x</sub> como NO <sub>2</sub>	Kraft, blanqueada	kg/ADt	1,5 para la pasta de fibra corta 2,0 para la pasta de fibra larga
	Kraft, sin blanquear—Integrada	kg/ADt	1,5 para la pasta de fibra corta 2,0 para la pasta de fibra larga
	De sulfito, integrada y no integrada	kg/ADt	2,0
TRS como S	Kraft, blanqueada	kg/ADt	0,2
	Kraft, sin blanquear—Integrada	kg/ADt	0,2

Fuentes: Comisión Europea. 2001. *Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel. Diciembre de 2001*; and U.S. EPA *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants For Source Categories, 40 CFR Part 63.*

Notas:

TSP= partículas totales en suspensión en el aire

SO<sub>2</sub> = dióxido de azufre

S = azufre

NO<sub>2</sub> = dióxido de nitrógeno

N = nitrógeno

TRS = compuestos de azufre reducido totales

Kg/ADt = kilogramos de contaminante por cada 1.000 kg de pasta seca al aire

**Cuadro 3—Consumo de energía y agua**

Tipo de fábrica	Rangos declarados		
	Consumo de agua (m <sup>3</sup> /t) <sup>a</sup>	Energía calorífica (GJ/t)	Energía eléctrica (kWh/t)
Proceso de la pasta kraft, blanqueado	20 – 100 <sup>e</sup>	10 - 14	600 – 800 <sup>i</sup>
Proceso de la pasta al sulfito (base de magnesio)	40 - 100		
Proceso de fabricación de pasta mecánico— Pasta mecánica	5 – 15		1100 – 2200 <sup>c</sup>
Proceso de fabricación de pasta mecánico--TMP	4 – 10		1800 – 3600 <sup>d</sup>
Proceso de fabricación de pasta mecánico—CTMP	15 - 50		1000 – 4300 <sup>e</sup>
Fábrica de papel recuperado—Cartón para la fabricación de cajas sin estucar	2 – 10		
Fábrica de papel recuperado—Cartón para la fabricación de cajas estucado	7 – 15		
Fábrica de papel recuperado—Papel corrugado y papel de embalaje	1.5 – 10		
Fábrica de papel recuperado—Papel prensa	10 – 20		
Fábrica de papel recuperado—Papel tisú	5 – 100 <sup>c</sup>		
Fábrica de papel recuperado—Papel de escritura e impresión	7 - 20		
Fábrica de papel—Papel tisú	10 – 50 <sup>f</sup>		500 – 3000
Fábrica de papel— de escritura e impresión, sin estucar	5 – 40 <sup>g</sup>		500 – 650
Fábrica de papel—Papel de escritura e impresión, estucado	5 – 50 <sup>g</sup>		650 - 900
Fábrica de papel—Cartón	0 – 20 <sup>h</sup>		~550 - 680
Fábrica de papel—Papeles especiales	10 - 300		

Notas:

- a. El agua de refrigeración limpia no suele incluirse como parte del consumo de agua.
- b. Las cantidades declaradas superiores a aproximadamente 50 m<sup>3</sup>/t probablemente incluyen el agua de refrigeración.
- c. Aproximadamente un 20% de la energía es recuperable como agua caliente.
- d. Aproximadamente un 20% de la energía puede recuperarse como agua caliente, y cerca de un 40 – 45% de la energía es recuperable como vapor.
- e. El consumo de agua en las fábricas de papel tisú depende en gran medida de las condiciones del proceso (por ejemplo, velocidad de la maquinaria) y del producto (por ejemplo, gramaje). Dado el bajo gramaje del producto, el consumo de agua por tonelada de producto puede ser mayor que en otros tipos de fábricas de papel.
- f. Para tejidos de RCF; incluye el procesamiento de RCF
- g. Puede incluir el agua utilizada en el procesamiento de la pasta.
- h. Incluye el agua utilizada en el procesamiento de la pasta.
- i. Las plantas modernas de pasta kraft blanqueada son exportadoras netas de electricidad, generando por lo general aproximadamente un 30% de electricidad más de la que consumen mediante la quema de licor negro y corteza.

Fuente: Comisión Europea. 2001. *Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de la Pasta y el Papel. Diciembre de 2001*