

MEDITERRÁNEO

Prevención de la contaminación en el **Sector Papelero**

producción

LIMPIA

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



PNUMA



Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda

Prevención de la contaminación en el **Sector Papelero**

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)
Plan de Acción para el Mediterráneo



PNUMA



Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia



Ministerio de Medio Ambiente
España



Generalitat de Catalunya
Departamento de Medio Ambiente
y Vivienda

Nota: Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente, con fines educativos y no lucrativos sin permiso específico del Centro de Actividades Regionales para la Producción Limpia (CAR/PL), siempre y cuando se mencione el origen de la información. El CAR/PL agradecería recibir una copia de cualquier publicación donde este material sea usado como fuente.

No está permitido en uso de esta información con fines comerciales o de venta sin permiso escrito del CAR/PL.

Si considera que algún punto del estudio puede mejorarse o existe alguna imprecisión, le agradeceríamos nos lo comunicase.

Estudio terminado en abril 2005

Estudio publicado en septiembre 2005

Si desea solicitar copias adicionales o para cualquier información adicional, póngase en contacto con:

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL)

C/ París, 184 – 3a planta

08036 Barcelona (España)

Tel.: +34 93 415 11 12 – Fax: +34 93 237 02 86

Correo electrónico: cleanpro@cema-sa.org

Web: <http://www.cema-sa.org>

ÍNDICE

0. RESUMEN EJECUTIVO.....	11
1. INTRODUCCIÓN	15
2. PRODUCCIÓN LIMPIA / OBJETIVOS Y BENEFICIOS DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	19
3. SITUACIÓN DE LOS PAÍSES DEL PLAN DE ACCIÓN PARA EL MEDITERRANEO	23
3.1. PAÍSES DEL SUR DEL MEDITERRÁNEO.....	23
3.1.1. ARGELIA	26
3.1.2. EGIPTO	28
3.1.3. LÍBANO.....	30
3.1.4. YAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA POPULAR	32
3.1.5. MARRUECOS	34
3.1.6. REPÚBLICA ÁRABE SIRIA	37
3.1.7. TÚNEZ.....	38
3.2. PAÍSES DEL NORTE DEL MEDITERRÁNEO.....	41
3.2.1. ESPAÑA.....	42
3.2.2. FRANCIA	45
3.2.3. GRECIA	47
3.2.4. ITALIA.....	50
3.2.5. MÓNACO.....	52
3.3. PAÍSES DEL ESTE DEL MEDITERRÁNEO	54
3.3.1. ALBANIA.....	55
3.3.2. BOSNIA-HERZEGOVINA.....	56
3.3.3. CHIPRE	58
3.3.4. CROACIA.....	60
3.3.5. ESLOVENIA.....	62
3.3.6. ISRAEL	65
3.3.7. MALTA	66
3.3.8. TURQUÍA.....	68
3.4. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA PASTA Y EL PAPEL EN LOS PAÍSES DEL PLAN DE ACCIÓN PARA EL MEDITERRANEO.....	70
4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS	83
4.1. PRODUCTOS PAPELEROS.....	83
4.2. MATERIAS PRIMAS	87
4.2.1. <i>Materias primas celulósicas</i>	87
4.2.2. <i>Materias secundarias y auxiliares</i>	91

4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS	94
4.3.1. Preparación de la materia prima	94
4.3.2. Elaboración de la pasta papelera	95
PASTAS MECÁNICAS.....	96
PASTAS QUÍMICAS	99
4.3.3. Procesos de tamizado y depuración de pastas	109
4.3.4. Blanqueo.....	110
4.3.5. Pastas a partir de papel recuperado.....	113
4.3.6. Fabricación de papel	120
5. PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES EN LA FABRICACIÓN DE PASTA Y PAPEL: CORRIENTES RESIDUALES Y CONSUMOS	129
5.1. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SU CONTROL .	134
5.1.1. Preparación de la materia prima	134
5.1.2. Elaboración de pastas	134
5.1.3. Fabricación de papel	140
5.1.4. Emisiones de dióxido de carbono.....	141
5.2. FUENTES DE GENERACIÓN DE VERTIDOS LÍQUIDOS Y SU CONTROL.....	144
5.2.1. Preparación de la materia prima	145
5.2.2. Elaboración de pastas	148
5.2.3. Fabricación de papel	156
5.3. FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y SU CONTROL.....	158
5.3.1. Preparación de la materia prima	158
5.3.2. Elaboración de pastas	159
5.3.3. Fabricación de papel	161
5.4. CONSUMO DE AGUA	162
5.4.1. Introducción	162
5.4.2. Elaboración de pastas	164
5.4.3. Fabricación de papel	164
5.4.4. Completa gestión del agua	165
5.5. CONSUMO DE ENERGÍA	166
5.5.1. Introducción	166
5.5.2. Elaboración de pastas	169
5.5.3. Fabricación de papel	170
6. OPORTUNIDADES PARA PREVENIR EN ORIGEN LA CONTAMINACIÓN.	171
6.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO	171
6.2. FICHAS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA PREVENCIÓN EN ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN (APOC'S) SELECCIONADAS.....	180
6.2.1. Ficha teórica	180
6.2.2. Recirculación de agua	180
6.2.3. Deslignificación con oxígeno.....	182
6.2.4. Blanqueo ECF	184
6.2.5. Blanqueo TCF	185

6.2.6.	<i>Cierre de circuitos en la planta de blanqueo</i>	187
6.2.7.	<i>Clarificación de aguas por flotación con aire disuelto</i>	192
6.2.8.	<i>Clarificación de aguas con sistemas de membranas</i>	195
6.2.9.	<i>Gestión óptima del agua. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación de los circuitos de agua y flujo en contracorriente</i>	198
6.2.10.	<i>Depuración por lavado de los gases procedentes de la caldera de recuperación</i>	199
6.2.11.	<i>Depuración y reutilización de los condensados más contaminados de la planta de evaporación</i>	201
6.2.12.	<i>Tratamiento de los gases de calderas y hornos con un precipitador electrostático</i>	202
6.2.13.	<i>Mejora en la preparación de pastas con una disminución del consumo de energía y emisiones</i>	204
6.2.14.	<i>Aplicación de cogeneración de vapor y energía</i>	205
6.2.15.	<i>Optimización del desgote en la sección de prensado de la máquina de papel</i>	206
6.3.	OTRAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS A CONSIDERAR	207
6.3.1.	<i>Descortezado en seco</i>	207
6.3.2.	<i>Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua</i>	208
6.3.3.	<i>Control y recuperación de fugas y escapes</i>	209
6.3.4.	<i>Tamizado de la pasta cruda en circuito cerrado de agua</i>	211
6.3.5.	<i>Lavado eficiente</i>	211
6.3.6.	<i>Cocción modificada extendida</i>	212
6.3.7.	<i>Blanqueo con ozono</i>	214
6.3.8.	<i>Cierre de los circuitos de agua con tratamiento biológico de los efluentes integrado en el proceso</i>	215
6.3.9.	<i>Reducción de las pérdidas de fibra y cargas minerales en la máquina de papel</i>	216
6.3.10.	<i>Recuperación y reciclaje de los productos de estucado contenidos en los efluentes</i>	217
6.3.11.	<i>Pretratamiento independiente de las aguas residuales de las operaciones de estucado</i>	218
6.3.12.	<i>Substitución de sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos contaminantes</i>	218
6.3.13.	<i>Control de las emisiones del parque de madera</i>	219
6.3.14.	<i>Incremento de la concentración de las lejías negras</i>	220
6.3.15.	<i>Mejora en el lavado de los lodos de caustificación</i>	221
6.3.16.	<i>Uso de combustibles pobres en azufre o combustibles renovables</i> ...	221
6.3.17.	<i>Minimización de pérdidas de rechazos en fábricas de pasta mecánica</i>	222
6.3.18.	<i>Recogida separada de los materiales no fibrosos</i>	223
6.3.19.	<i>Actualización del diseño de las instalaciones con el objetivo de disminuir los consumos energéticos</i>	223
6.3.20.	<i>Uso de tecnologías energéticamente eficientes</i>	223
6.3.21.	<i>Eliminación de vertidos accidentales u ocasionales</i>	225
6.3.22.	<i>Formación, educación y motivación al personal</i>	226
6.3.23.	<i>Optimización del control del proceso y mantenimiento eficiente de las instalaciones</i>	226
6.3.24.	<i>Gestión medioambiental</i>	227

6.4. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMERGENTES.....	228
6.4.1. Nuevos procesos de pasta TMP energéticamente eficientes	228
6.4.2. Cierre de los circuitos de agua con evaporación e incineración de los concentrados.....	229
6.4.3. Eliminación de agentes quelantes.....	231
6.4.4. Empleo del proceso de reducción selectiva no catalítica “SNCR” (Selective non catalytic reduction).....	232
6.4.5. Bioreactor de membrana.....	233
6.4.6. Recuperación de cenizas y CO ₂ procedentes de la caldera para producir cargas minerales de uso papelero.....	234
6.4.7. Sistemas de diagnóstico	234
6.5. TABLA RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PROPUESTAS ...	235
7. TRATAMIENTOS FINALISTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TFMC’S)	243
7.1. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS FINALISTAS SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO	243
7.2. FICHAS DE LOS TRATAMIENTOS FINALISTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TFMC’S) SELECCIONADOS	247
7.2.1. FICHA TEÓRICA	247
7.2.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL	247
7.2.3. CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE GASES MALOLIENTES.....	250
7.2.4. INSTALACIÓN DE QUEMADORES DE BAJA EMISIÓN DE NO _x	252
7.2.5. REDUCCIÓN DEL RUIDO EXTERIOR	253
7.2.6. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS A VERTEDEROS EN PLANTAS DE PASTA MECÁNICA	253
7.2.7. TRATAMIENTO IN SITU DE RECHAZOS Y LODOS (DESGOTE)	254
7.2.8. COMBUSTIÓN DE LODOS DE DESTINTADO	255
7.3. OTROS TRATAMIENTOS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TMC’S) A CONSIDERAR.....	257
7.3.1. Tratamiento primario del agua residual.....	257
7.3.2. Tratamiento anaerobio como primera etapa del tratamiento aerobio ..	258
7.3.3. Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química	259
7.3.4. Control de las desventajas potenciales del cierre del circuito de agua de la máquina de papel	259
7.4. TRATAMIENTOS FINALISTAS TECNOLÓGICAMENTE EMERGENTES.....	262
7.4.1. Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración.....	262
7.5. TABLA RESUMEN DE LOS TRATAMIENTOS FINALISTAS PROPUESTOS	263
8. CASOS PRÁCTICOS.....	265
8.1. CASOS PRÁCTICOS DE ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN EN ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN.....	266
8.1.1. Cocción modificada extendida.....	266
8.1.2. Cocción modificada extendida y blanqueo con oxígeno	267

8.1.3. Recuperación y reutilización de compuestos químicos de las lejías negras.....	268
8.1.4. Obtención de pasta kraft blanqueada	269
8.1.5. Óptima gestión del agua	274
8.1.6. Recuperación de la fibra en el proceso de fabricación de cartón.....	275
8.1.7. Reaprovechamiento del agua de las bombas de vacío de la máquina de papel.....	278
8.1.8. Minimización de la cantidad de aguas de limpieza en la limpieza de los conductos	278
8.1.9. Tratamiento interno de las aguas de proceso por Ultrafiltración	280
8.1.10. Flotación por aire disuelto	282
8.1.11. Recuperación y reciclaje de productos de estucado.....	283
8.1.12. Instalación de variadores de frecuencia al motor de la bomba del foso de la máquina de papel.....	286
8.2. CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTOS FINALISTAS	287
8.2.1. Instalación de una depuradora de tratamiento primario.....	287
8.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales	288
8.2.3. Tratamiento de efluentes mediante el uso de ozono.....	289
8.2.4. Valoración energética de lodos	291
8.3. OTROS EJEMPLOS DE BUENA GESTIÓN AMBIENTAL	294
8.3.1. Planteamiento sistemático para la óptima gestión del agua.....	294
8.3.2. Medidas de prevención y reducción de emisiones en una fábrica de papel prensa a partir de papel recuperado	296
9. CONCLUSIONES.....	309
10. BIBLIOGRAFÍA.....	311

0. RESUMEN EJECUTIVO

Aunque la industria papelera siempre se ha caracterizado por presentar muchos de los conceptos relacionados con el desarrollo sostenible, todavía tiene que realizar un mayor esfuerzo en la minimización del consumo de recursos naturales y del impacto medioambiental. El reto actual consiste en adoptar las medidas necesarias para permitir un desarrollo sostenible y garantizar la competitividad de las empresas, especialmente de las PYMES.

Este Manual de Prevención de la Contaminación en el Sector Papelero pretende ofrecer herramientas y criterios de decisión para la implantación de una mejora ambiental progresiva en las empresas de los países del plan de Acción para el Mediterráneo para alcanzar una Producción más Limpia.

El objetivo de la Producción más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada en los procesos, productos y servicios con el fin de incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para las personas y el medio ambiente. Dicha estrategia pasa por la evaluación y adopción paulatina de las mejores técnicas disponibles para minimizar la contaminación ambiental que sean técnica y económicamente viables de acuerdo con las características específicas de cada proceso productivo. En este Manual se pone de manifiesto que la adopción de alternativas preventivas de la contaminación permiten reducir el consumo de recursos naturales (materias primas, agua, energía, ..), disminuir las corrientes residuales y aumentar la eficiencia del proceso productivo, con lo que se consigue favorecer la economía del proceso, contribuyendo también a aumentar la competitividad de las instalaciones industriales.

Puesto que el objetivo prioritario de la Producción más Limpia es la minimización de las emisiones en su origen, el orden de actuación es: prevenir, reducir y reutilizar. Aunque también se tiene que contemplar, de forma complementaria, el tratamiento de las emisiones finales para minimizar el impacto medioambiental de las mismas.

Como se pone de manifiesto en el capítulo 3, el alcance de dichas actuaciones depende de la legislación vigente en cada país, existiendo grandes diferencias entre ellas, a excepción de los países de la Unión Europea que tienen que cumplir con la Directiva de Control y Prevención Integrado de la Contaminación (IPPC).

En los países del Norte y Este del Mediterráneo se produce, en la actualidad, aproximadamente el 95% de la producción total de productos papeleros del Área del Mediterráneo y donde se consume el 90% de los mismos. El grado de desarrollo industrial alcanzado en las distintas Áreas del Mediterráneo varía, existiendo 10 países con un consumo de papel inferior a 50 kg/hab/año (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)).

En el capítulo 4 se describen las materias primas utilizadas y los principales procesos productivos. A continuación, en el capítulo 5 se recogen las principales fuentes potenciales de contaminación así como los consumos de agua y energía más habituales para cada tipo de proceso.

Las principales fuentes potenciales de contaminación atmosférica son debido a la generación de compuestos orgánicos volátiles, compuestos malolientes y partículas en las plantas de obtención de pasta y a CO₂, NO_x, SO_x y partículas en suspensión en los procesos de obtención de energía.

La generación de vertidos líquidos ha disminuido considerablemente durante los últimos años debido al cierre de los circuitos de aguas. Por ejemplo, en los países del norte del Mediterráneo se ha alcanzado una reducción del 90% en los últimos 20 años, para lo cual ha sido necesario el tratamiento interno de las aguas previo a su reutilización. Los principales contaminantes presentes en los efluentes son sólidos en suspensión y sólidos disueltos de naturaleza orgánica e inorgánica.

Después de que se descubriera en los años 80 la presencia de dioxinas en emisiones de fábricas de pastas se han cambiado los procesos de blanqueo, prohibiéndose la utilización de cloro elemental en la mayoría de los países del Plan de Acción para el Mediterráneo. La adopción de sistemas de blanqueo ECF y TCF ha reducido la emisión de compuestos halogenados en más del 90% desde 1990. En la mayoría de los casos es necesario un tratamiento primario y/o secundario de las aguas de proceso previo a su vertido para minimizar el impacto medio ambiental de los mismos.

La generación de residuos se produce fundamentalmente en los procesos de producción de energía, en los procesos de tratamientos de aguas de proceso, en la etapa de recuperación de lejías negras en las fábricas de pasta kraft y en las etapas de preparación de pasta en las plantas de papel recuperado.

En el capítulo 6 de este manual se presentan distintas alternativas para prevenir en origen la contaminación. Debido a la gran variedad de alternativas y posibles soluciones, las propuestas incluidas en este capítulo no son las únicas existentes, sino una selección que refleja la variedad de técnicas existentes.

En el capítulo 6 se ha estructurado en tres grandes apartados, cada uno de ellos reúne una serie de alternativas o técnicas de características coincidentes:

En el apartado 6.2. se incluyen las Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's), técnicas de mayor relevancia tecnológica o complejidad que requieren una descripción detallada. Éstas se presentan en formato de ficha.

De cada APOC se describe: el proceso en el que es de aplicación, la actuación clave en la que se basa, la etapa o operación del proceso en la que se integra, la problemática medio ambiental asociada, los beneficios potenciales, la descripción y procedimiento de su implantación y los aspectos económicos.

A continuación se muestran las Alternativas para la Prevención en Origen de la Contaminación (APOC's) incluidas en el presente Manual:

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's)

- Recirculación de agua
- Deslignificación con oxígeno
- Blanqueo ECF
- Blanqueo TCF
- Cierre de circuitos en la planta de blanqueo
- Clarificación de agua por flotación con aire disuelto
- Clarificación de aguas con sistema de membranas
- Gestión óptima del agua
- Depuración por lavado de los gases procedentes de la caldera de recuperación
- Depuración y reutilización de los condensados más contaminados de la planta de evaporación.
- Tratamiento de los gases de calderas y hornos con un precipitador electrostático.
- Mejora de la preparación de pastas con una disminución del consumo de energía y emisiones.
- Aplicación de cogeneración de vapor y energía.
- Optimización del desgote en la sección de prensado de la máquina de papel.

En el siguiente apartado, apartado 6.3., se describen otras alternativas tecnológicas a considerar, que sin necesitar una descripción tan detallada como las anteriores, debido a su sencillez tecnológica, mayor carácter teórico o especificidad, son igualmente consideradas técnicas viables para la

prevención en origen de la contaminación. Se incluye de cada alternativa la definición, aplicabilidad, aspectos ambientales y aspectos económicos.

A continuación se muestran Otras Alternativas Tecnológicas a Considerar, incluidas en el presente Manual:

Otras Alternativas Tecnológicas a Considerar

- Descortezado en seco.
- Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua.
- Control y recuperación de fugas y escapes.
- Tamizado de la pasta curda en circuito cerrado de agua.
- Lavado eficiente.
- Cocción modificada extendida.
- Blanqueo con ozono.
- Cierre de los circuitos de agua con tratamiento biológico de los efluentes integrado en el proceso.
- Reducir las pérdidas de fibras y cargas minerales en la máquina de papel.
- Recuperación y reciclaje de los productos de estucado contenidos en los efluentes.
- Pretratamiento independiente de las aguas residuales de las operaciones de estucado.
- Substitución de sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos contaminantes.
- Control de las emisiones del parque de madera.
- Incremento de la concentración de lejías negras.
- Mejora en el lavado de los lodos de caustificación.
- Uso de combustibles pobres en azufre o combustibles renovables.
- Minimización de pérdidas de rechazo en fábricas de pasta mecánica.
- Recogida separada de los materiales no fibrosos.
- Actualización del diseño de las instalaciones con el objetivo de disminuir los consumos energéticos.
- Uso de tecnologías energéticamente eficientes.
- Eliminación de vertidos accidentales u ocasionales.
- Formación, educación y motivación del personal.
- Optimización del control del proceso y mantenimiento eficiente de las instalaciones.
- Gestión medioambiental.

En el capítulo 6.4. Alternativas tecnológicamente emergentes, se tratan algunas de las tecnologías más innovadoras diseñadas con el objetivo de alcanzar la Producción Limpia en el sector de la pasta y el papel. De cada una de estas alternativas se incluye su definición, aplicabilidad, aspectos ambientales y aspectos económicos.

A continuación se muestran las Alternativas Tecnológicamente emergentes incluidas en el presente Manual:

Alternativas tecnológicamente emergentes

- Nuevos procesos de pasta TMP energéticamente eficientes.
- Cierre de los circuitos de agua con evaporación e incineración de los concentrados.
- Eliminación de agentes quilates.
- Empleo del proceso de reducción selectiva no catalítica "SNCR" (Selective non catalytic reduction).
- Bioreactor de membrana.
- Recuperación de cenizas y CO₂ procedentes de la caldera para reducir cargas minerales de uso papelerero.
- Sistemas de diagnóstico.

Asimismo, en el capítulo 7 se recogen algunos de los Tratamientos Finalistas para la Minimización de la Contaminación (TFMC's) existentes actualmente. Tienen como objetivo disminuir la cantidad de residuos emitidos al medio por parte de la industria, y en algunos casos resultan técnicas complementarias a las Alternativas de Prevención en Origen de la Contaminación para la consecución de la Producción Limpia.

En el capítulo 7.2 se incluyen los TFMC, en formato de ficha, que necesitan una descripción más detallada debido a su complejidad de la tecnológica o su ámbito de aplicación, estos són:

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's)

- Tratamientos biológicos del agua residual.
- Captación y tratamiento de gases malolientes.
- Instalación de quemadores de baja emisión de NO_x.
- Reducción del ruido exterior.
- Minimización de residuos a vertederos en plantas de pasta mecánica.
- Tratamiento in situ de rechazos y lodos (desgote).
- Combustión de lodos de destintado.

En el apartado 7.3. se incluyen Otros Tratamientos para la Minimización de la Contaminación (TMC's) considerados en este Manual, las características de estos tratamientos permiten su descripción de manera más sencilla que los incluidos en el apartado 7.2. De cada uno de los TMC se incluye: descripción, definición, aplicabilidad, aspectos ambientales y aspectos económicos.

A continuación se muestran los Tratamientos para la Minimización de la Contaminación (TMC's) considerados en este Manual:

Otros Tratamientos para la minimización de la contaminación (TMC's) a considerar

- Tratamiento primario del agua residual.
- Tratamiento anaerobio como primera etapa del tratamiento aerobio.
- Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química.
- Control de las desventajas potenciales del cierre del circuito del agua de la máquina de papel.

Posteriormente, en el capítulo 7.4. Tratamientos Finalistas Tecnológicamente Emergentes, se describe el tratamiento de los efluentes mediante un proceso combinado de ozonización y biofiltración, como muestra de la evolución tecnológica de los tratamientos de aguas residuales.

Por último, en el capítulo 8 se recogen una serie de casos prácticos con el objetivo de facilitar la toma de decisión con respecto a algunos tratamientos concretos. Se han seleccionado desde casos muy específicos en los que se indican las ventajas alcanzadas en una planta con la implementación de una de las alternativas propuestas hasta casos mas generales en los que se pone de manifiesto cuales son las alternativas mas utilizadas en un grupo de plantas o se describen las distintas etapas aplicadas para alcanzar una Producción más Limpia.

En el apartado de Bibliografía del presente manual se recogen una serie de publicaciones, instituciones y páginas web que pueden proporcionar al lector información adicional o complementaria a la contenida en el presente escrito.

1. INTRODUCCIÓN

En la vida moderna el papel es un producto indispensable, de gran calidad, bajo coste, seguro y reciclable, que satisface numerosas necesidades en el trabajo, en casa, en la educación, en la industria, en la economía, etc. Se puede utilizar como medio de información, para transportar bienes, para proteger la comida, como absorbente, para la higiene personal; también se puede utilizar con fines artísticos, ornamentales, recreativos, etc. El papel presenta distintas propiedades en función de su uso, puede ser de uso permanente o temporal, delicado o resistente, caro o económico, abundante o escaso. Puede ser conservado en un museo o tirado a la basura. En la actualidad existen más de 500 productos de papel que pueden ser usados en más de 300 aplicaciones. Los productos papeleros se pueden producir por miles de toneladas o en pequeñas cantidades, para aplicaciones especiales. Por tanto, el sector está formado por fábricas de tamaño muy variado, desde grandes fábricas pertenecientes, normalmente, a empresas multinacionales, hasta pequeñas empresas familiares con un mercado muy localizado.

Una vez usados, la mayoría de los productos pueden ser recogidos selectivamente y reutilizados como fuente de fibra secundaria, práctica existente desde hace siglos y, si esto no es posible, pueden utilizarse como biocombustibles. Por tanto, el papel forma parte de un ciclo de carbón integral basado en la conversión fotosintética del agua, dióxido de carbono, nutriente y energía solar en la madera, una biomasa renovable. De esta forma la fibra virgen y la fibra reciclada son complementarias y su uso tiene que ser optimizado de acuerdo a las características requeridas en el producto final.

Al igual que otros sectores industriales la industria papelera trata de alcanzar un desarrollo sostenible. Por sus características específicas, este sector cumple desde hace décadas con muchos de los conceptos del desarrollo sostenible, si bien cada día realiza un mayor esfuerzo en la minimización del consumo de recursos naturales y del impacto ambiental.

El desarrollo sostenible requiere una visión a largo plazo en el que las empresas se centren en preservar la calidad de vida, lo que significa respetar las necesidades humanas y los ecosistemas tanto locales como globales. En este proceso dinámico no solamente se consideran aspectos medioambientales, sino también socioeconómicos como por ejemplo el bienestar social y el empleo. Algunas medidas se pueden implementar a corto plazo pero otras requieren largos periodos de planificación y adaptación. Muchas compañías ya han adoptado medidas efectivas en un amplio abanico de temas medioambientales y sociales y han incluso alcanzado nuevas oportunidades de mercado. Sin embargo, puesto que este sector industrial está formado por cientos de pequeñas, medianas y grandes empresas, el desarrollo alcanzado por las distintas fábricas es muy diferente, incluso dentro de una misma empresa. Dicho desarrollo depende, fundamentalmente, de la localización de las fábricas, de las expectativas de sus accionistas o propietarios y de la identificación de nuevas oportunidades de mercado.

Asimismo hay que considerar que, en la actualidad, las fábricas no solo se enfrentan al proceso de desarrollo sostenible, con todos los cambios que ello supone, sino que en paralelo también tienen que hacer frente al proceso de globalización. En definitiva, el desarrollo sostenible de la industria papelera presenta oportunidades y retos de tal forma que los fabricantes de papel necesitan adaptarse a todos estos cambios para encontrar la manera de mantener la rentabilidad de las fábricas y, al mismo tiempo, reducir el impacto medio ambiental de las mismas.

La creciente concienciación ambiental ha llevado a que las industrias tengan un mayor interés en proteger el medio ambiente, así como en ahorrar en los consumos eléctrico y térmico, minimizando la descarga de sustancias contaminantes, disminuyendo el consumo total del agua y optimizando sus necesidades energéticas.

De esta manera, se ha estructurado progresivamente una estrategia para optimizar las actividades industriales, tanto desde el punto de vista ambiental como del de rentabilidad y competitividad. Las líneas esenciales de esta estrategia pueden resumirse de la siguiente manera:

- Una nueva relación de la industria con el ambiente, en la que se considera a este último como componente inherente a la producción; en esta lógica, la industria asume principios como el de que "quien contamina paga". Dichos principios han generado beneficios adicionales al enfrentar formas de ineficiencia y optimizar el uso de materias primas y energía.
- La modernización de la regulación ambiental, mediante la cual se busca reducir la sobrecarga burocrática y los costos administrativos de la regulación, a la vez que se concilia el desarrollo de normas y regulaciones ambientales con criterios de productividad y se procura sintetizar la eficiencia y la rentabilidad de las empresas con la protección ambiental.
- La necesidad de las empresas de hacer frente a la competencia internacional y de ajustarse a normas de calidad y otros estándares internacionales como las normas de las series ISO-9000 e ISO-14000.

Así, por tanto, se reconoce que la solución más eficaz a los problemas de contaminación ambiental es evitar la generación de corrientes residuales, por medio de la aplicación de tecnologías limpias que corrigen el problema en su origen. Esta solución puede ser adoptada tanto en las industrias nuevas como en aquellas que procuran la modernización de sus instalaciones productivas.

En general, desde el punto de vista medioambiental, los siguientes factores se consideran esenciales en este sector industrial:

- Reducir el consumo de recursos naturales y optimizar el proceso productivo o industrial para minimizar la generación de corrientes residuales.
- Aumentar la eficiencia energética.
- Minimizar el impacto ambiental de los procesos y de los productos.
- Favorecer los ciclos cerrados de procesos y operaciones auxiliares.
- Utilización de recursos renovables y favorecer el reciclado.
- Extender la durabilidad de la vida de los productos papeleros.

Este Manual pretende ofrecer herramientas y criterios de decisión para la implantación de una mejora ambiental progresiva en las empresas, proporcionando información para la prevención de la contaminación en el sector papelero para los países del Plan de Acción para el Mediterráneo.

Según el Estudio publicado en enero de 2004 por el Centro de Actividad Regional para la Producción más Limpia (CAR/PL) sobre "Estado de la Producción más Limpia en los Países del Plan de Acción para el Mediterráneo" y de acuerdo a las manifestaciones de los Puntos Focales Nacionales del CAR/PL con respecto al concepto de producción más limpia, la mayoría de los países mediterráneos han adoptado la definición del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), según el cual: "La producción más limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada en los procesos, productos y servicios con el fin de incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para las personas y el medio ambiente". Si bien, existen casos en los que la producción más limpia se asimila a conceptos como las Alternativas de Producción Limpia (APL) y las tecnologías más limpias.

Para la elaboración del presente Manual, en primer lugar, se realiza la detección de las potenciales problemáticas ambientales de las fábricas del sector papelero, las cuales son:

- Vertidos líquidos
- Residuos sólidos / Lodos
- Emisiones a la atmósfera
- Consumo excesivo de energía

En segundo lugar, se estudian los procesos de fabricación de dicho sector en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo, describiendo de forma detallada las cuatro problemáticas ambientales anteriormente expuestas; y, finalmente, se proponen alternativas de prevención en origen de la contaminación, especificando, a modo de ejemplo, casos prácticos de aplicación de algunas de las alternativas propuestas.

Así por tanto, el documento se estructura de la siguiente manera:

PARTE I: Producción Limpia / Objetivos y Beneficios de la Prevención de la Contaminación

En este apartado se define el concepto de “prevención de la contaminación”, y se resumen los beneficios de aplicar dichas técnicas de prevención.

PARTE II: Prevención de la Contaminación en el Sector Papelero

Esta parte describe tanto la situación actual del sector papelero en la región del mediterráneo, como los procesos asociados a dicho sector, las corrientes residuales generadas y principales impactos ambientales, y proporciona alternativas para la prevención de la contaminación.

PARTE III: Casos Prácticos

Se incluye en esta sección muestras específicas de empresas que han utilizado distintas alternativas para la prevención de la contaminación. Estos estudios de casos describen la estrategia seguida así como los beneficios, particularmente los ahorros en costes, que las empresas han logrado.

2. PRODUCCIÓN LIMPIA / OBJETIVOS Y BENEFICIOS DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

La Producción más Limpia en un entorno industrial se centra en la ejecución eficaz de los procesos productivos de manera que se genere el valor mínimo de subproductos o corrientes residuales no aprovechables internamente con el mínimo consumo de materias primas y recursos.

La producción más limpia se apoya en tres ámbitos de actuación:

- Prevenir
- Reducir
- Reutilizar internamente

La *prevención* se orienta hacia la toma de decisiones en el diseño de una nueva planta o el rediseño de existentes, con el objetivo de “prevenir” la contaminación, es decir, no generar la corriente residual. De manera que primará la selección alternativas que minimicen la generación de corrientes residuales, reduciendo así el impacto ambiental en el entorno.

La *reducción* o minimización se aplica en aquellos procesos que, a pesar de que ya están implantados en su totalidad, disponen de margen de mejora. Las modificaciones deberán considerar la reducción de las corrientes residuales generadas y/o consumo de materias primas y recursos naturales.

La *valorización* interna considera el uso de las corrientes residuales como materia prima dentro de la empresa, éste es el último recurso para limitar el impacto ambiental.

El efecto ambiental de las medidas será tanto o más positivo cuanto más intensamente se haga hincapié sobre el concepto de producción más limpia.

Desde el punto de vista de los costes se debe pensar en la producción más limpia como un proceso que genera beneficios con el paso del tiempo, así por tanto, la producción limpia reduce costes mejorando la eficacia productiva.

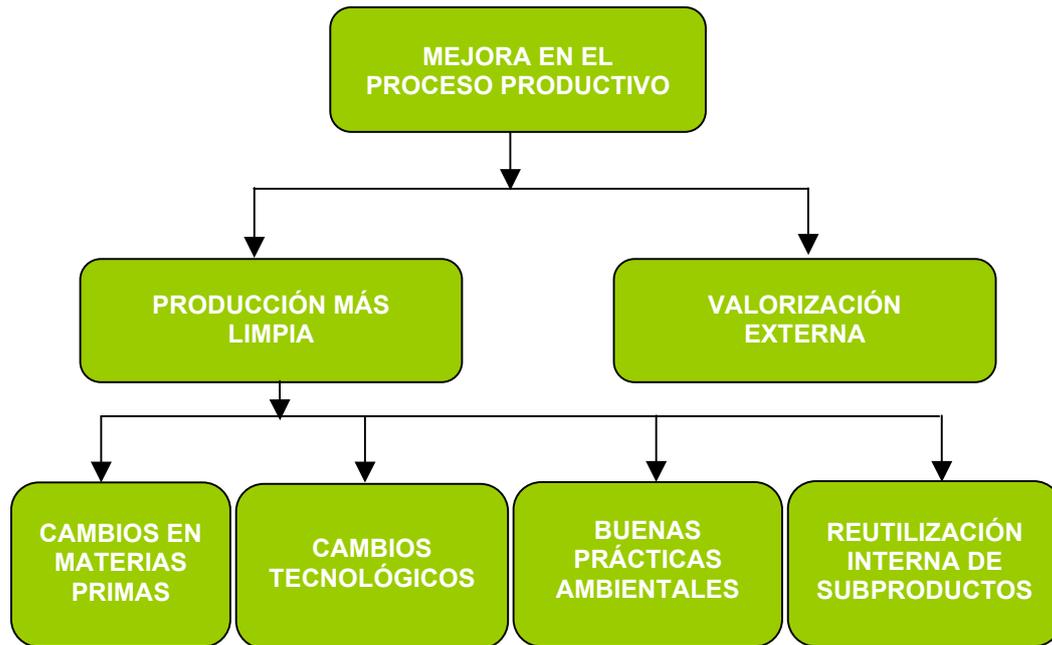
De esta manera, la planificación y el diseño de un proceso en el que se seleccionen técnicas que minimicen la generación de corrientes residuales, será a medio-largo plazo mucho más rentable ambiental y económicamente que aquellos procesos en los que tan sólo se da una correcta gestión de tratamiento de corrientes residuales al final del proceso.

Entre las principales causas que progresivamente están propiciando que la producción más limpia esté cada vez más presente en el sector de la pasta y el papel, se encuentran las siguientes:

- Un marco legal cada vez más estricto y más controlado.
- Un aumento del coste de la gestión externa de corrientes residuales.
- Una incorporación en la gestión financiera del producto de los costes ambientales implicados.
- Sensibilización ambiental cada vez más creciente entre los consumidores y clientes.
- Mejora técnica aplicando procesos de producción más limpia que ofrecen unos productos de calidad igual o superior.

Tanto en la fabricación de la pasta como del papel, las medidas de producción más limpia se pueden agrupar según las líneas de actuación que se muestran a continuación:

- Cambios en materias primas: Medidas centradas en la mejora por sustitución o modificación de aquellas materias primas consumidas en el proceso por otras con un potencial contaminante inferior.
- Cambios tecnológicos: Medidas que representen modificaciones en los procesos.
- Medidas organizativas: Medidas encaminadas a conseguir un correcto uso de los equipos y sistemas con el fin de optimizar el funcionamiento de la planta.
- Reciclaje interno de subproductos o corrientes residuales: Reutilización, con o sin tratamiento previo en el propio proceso (según el caso) de las corrientes residuales generadas, considerándolas como nuevas materias primas.



La Prevención de la Contaminación es, tal y como define la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos): "...la máxima reducción posible de todos los residuos generados en su lugar de producción. Esto supone el uso adecuado de recursos mediante la reducción en origen, eficiencia en el uso de la energía, recuperación de materiales usados como entradas durante la producción y un menor consumo de agua. Existen dos métodos generales de reducción en origen que pueden usarse en un programa de prevención de la contaminación: cambios en los productos y cambios en los procesos. Estos reducen el volumen y la toxicidad de los residuos de producción y productos finales durante su ciclo de vida y en su disposición."

OBJETIVOS DE LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

El objetivo del programa para la prevención en origen de la contaminación es mejorar la calidad del ambiente mediante la eliminación y/o la disminución de la generación de corrientes residuales. La prevención de la contaminación incluye cualquier actividad iniciada por una empresa para reducir la cantidad de residuos generados por sus procesos de fabricación antes del reciclaje, tratamiento, o disposición de estos residuos fuera del lugar.

BENEFICIOS DE UN PROGRAMA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN

Las empresas que cuenten con un plan efectivo y continuo para prevenir la contaminación tendrán una ventaja significativa para competir en su industria, puesto que disminuyen los costes de operación y los costes de producción. Así, un programa de prevención de la contaminación puede presentar los siguientes beneficios:

- **Proteger la salud humana y la calidad del medio ambiente:** La reducción de los contaminantes emitidos al aire, tierra y agua, ayudará a proteger el medio ambiente y la salud humana.
- **Reducir los costes de operación:** A largo plazo, un programa efectivo de reducción de la contaminación puede suponer ahorros que amortizan los costes de desarrollar e implantar el programa.
- **Motivación de los empleados:** Los empleados se sentirán mejor en su empresa si creen que la gerencia se compromete a proporcionarles un ambiente de trabajo más seguro y, que a la vez, colabora como un miembro responsable de la comunidad.
- **Mejora de la imagen de la empresa:** Demostrar una conciencia ambiental mejora la imagen de la empresa, se crean opiniones más positivas hacia empresas que tienen una cultura de respeto a la naturaleza. Esto puede abrir nuevas oportunidades de mercado para determinados productos.
- **Mejora en el cumplimiento de la legislación ambiental:** Siguiendo un plan de prevención para la contaminación la empresa aumenta sus oportunidades de evitar infracciones y multas relacionadas con la legislación ambiental.

3. SITUACIÓN DE LOS PAÍSES DEL PLAN DE ACCIÓN PARA EL MEDITERRANEO

El objetivo de este apartado es proporcionar al lector una imagen general de la situación actual de los distintos países del Plan de Acción para el Mediterráneo, aportando información socioeconómica del país, aspectos concretos de la industria del país y los principales impactos ambientales asociados con la actividad industrial (en especial con el sector de la pasta y el papel), leyes y normativas existentes en el marco legal actual para prevenir y controlar la contaminación, agentes involucrados en la promoción de la producción más limpia, programas y planes de acción creados para promover la producción más limpia, así como las actividades y las herramientas utilizadas para promover y difundir la producción más limpia.

La información se ha obtenido a partir de fuentes bibliográficas de Organismos Oficiales como Institutos de Estadística, Agencias de Medio Ambiente, Agencias de Energía, Ministerios de Economía, etc., así como también de la segunda edición del estudio recientemente publicado por el Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL): "Estado de la producción más limpia en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo". En esta nueva edición se actualiza y complementa el estudio que el Centro publicó en el año 2001, analizándose los principales avances registrados en los países mediterráneos en relación con la adopción de normativas, programas y planes de acción para la prevención de la contaminación y el fomento de la producción más limpia.

Se estudian a continuación los distintos países de la región agrupados en tres subregiones (Sur, Norte y Este), no estando revisada ni aprobada esta información por los Puntos Focales Nacionales de cada país por cuestiones prácticas.

3.1. PAÍSES DEL SUR DEL MEDITERRANEO

Este grupo engloba a Argelia, Egipto, Líbano, Libia, Marruecos, Siria y Túnez, países todos miembros de la Liga de Estados Árabes y con características específicas comunes, a pesar de las diferencias políticas que puedan existir. Todos ellos comparten algunos principios culturales e idiomas similares que facilita la acción común.

Varios de los aspectos principales de esta subregión son la modernización de la industria existente, el desarrollo del Derecho ambiental y del sistema legislativo, la adopción de planes de acción ambiental en el ámbito nacional y la instauración de centros nacionales para la producción más limpia que respalden la estrategia adoptada por cada país.

Industria y medio ambiente

A lo largo de las tres últimas décadas los países del sur del Mediterráneo han experimentado mejoras en cuanto a cuestiones de salud, la educación y el bienestar. Sin embargo, este desarrollo se ha visto influenciado negativamente por un aumento de la presión de la población, la recesión económica y los conflictos armados.

El rápido crecimiento de la población de los países del sur del Mediterráneo, unido al aumento de las actividades humanas, especialmente en las zonas urbanas, incrementa tanto la presión sobre el entorno, como la producción de residuos y contaminación.

El producto interior bruto (PIB) de los países del sur del Mediterráneo ha crecido considerablemente en la última década. La mayoría de países han puesto en marcha reformas y reestructuraciones económicas, fomentan la economía de mercado, la descentralización y han logrado reducir los índices de inflación.

El peso de la industria en estos países es considerable; representa más del 25,5% del PIB total de la subregión (sin incluir la extracción de crudo). La industrialización supone una importante fuente de ingresos para los estados gracias al comercio de sus productos, la creación de puestos de trabajo y la aportación de valor añadido sobre los productos primarios.

La estructura industrial de los países del Sur del Mediterráneo tiene algunos rasgos comunes:

- El desarrollo industrial de los países del sur del Mediterráneo se basa principalmente en la explotación de fuentes de energía naturales no renovables. El petróleo y el gas que se extraen en Libia, Argelia y Egipto han adquirido gran importancia, tanto desde el punto de vista de la exportación como del de las industrias de gran consumo energético y valor añadido que han proliferado en la zona.
- Además de centrarse en el petróleo y el gas, los países del sur del Mediterráneo muestran tendencia a concentrarse en otras actividades de extracción o de procesamiento de materias primas propias como, por ejemplo, fosfatos y otros minerales en Marruecos, o la industria agrícola en Siria.
- La presencia de industrias productoras de bienes de equipo es relativamente escasa a pesar de la importancia que tendría potenciar este sector en países como Egipto, Marruecos y Túnez.
- Por último, las exportaciones de los productos fabricados siguen siendo muy limitadas y el déficit de la balanza comercial muy alto. Con todo, la situación podría cambiar si se impulsasen nuevas políticas de fomento de las exportaciones.

A pesar de los recientes intentos por diversificar el tejido industrial, asignando importantes recursos de los presupuestos nacionales a la industria y a las infraestructuras que necesita, el comportamiento del sector manufacturero en los países del sur del Mediterráneo no ha sido satisfactorio. Este hecho responde a la tendencia dominante a importar bienes, a la falta de estrategias de desarrollo industrial aplicadas, a la protección artificial de la industria nacional y a la falta de cooperación en materia comercial e industrial entre los distintos países que componen esta subregión.

La minería y el procesamiento de minerales y metales industriales han crecido, como también lo ha hecho la extracción de combustible fósil.

Países como Egipto, Siria, Túnez y Marruecos, que tienen economías diversificadas, siguen centrándose en las industrias tradicionales como las de producción de alimentos, cemento y textiles.

Pocos países han podido establecer industrias competitivas mediante la introducción de tecnologías modernas. Además de que en muchos de esos países la industrialización sigue potenciándose mediante políticas incompatibles con el concepto de sostenibilidad.

El modelo de desarrollo industrial que se ha venido aplicando en los países del sur del Mediterráneo ha contribuido a la aparición de «puntos negros de contaminación» que han causado un importante deterioro ambiental y la sobrecarga de las infraestructuras públicas para la protección del medio ambiente en las grandes ciudades.

En los países con un nivel de industrialización comparativamente mayor (por ejemplo Egipto, Marruecos, Túnez o Siria), los problemas ambientales son todavía más serios como consecuencia de:

- Tratamientos inadecuados al final de línea, e incorrecta manipulación y eliminación de los residuos peligrosos;
- Dificultad de controlar los efluentes y emisiones industriales debido a la falta de instrumentos y personal cualificado;
- Falta de predisposición por parte de la mayoría de empresas contaminantes a invertir en medidas de disminución de la contaminación;
- Falta de personal especializado y formado para gestionar el funcionamiento de las instalaciones de tratamiento de residuos.

No obstante, en la actualidad la industria está reconociendo la necesidad de evitar o reducir la generación de residuos a través de las nuevas tecnologías de prevención de la contaminación. Esta tendencia ha logrado mejorar paulatinamente las conductas de producción y consumo.

Marco político y legal

La legislación ambiental de todos los países del sur del Mediterráneo ha sido ampliamente revisada y modificada en los últimos años. En general, los países de la subregión adoptan una ley ambiental general (marco) que se complementa con normas sectoriales. Todos ellos han aprobado leyes de control de la contaminación industrial de las aguas que protegen directa o indirectamente el entorno marino y la mayoría de ellos han aprobado también las normativas sobre Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) en los sistemas de concesión de permisos.

En la mayoría de países, la modernización del marco legal ha propiciado la regulación legal de aspectos relacionados con la PL, principalmente a través de leyes sobre residuos y de la introducción de nuevos requisitos ambientales en el proceso de obtención de permisos.

Es el caso, por ejemplo, de la Ley de Residuos de Argelia o de los requisitos de minimización de residuos establecidos en la legislación egipcia; la PL también figura en el proyecto de ley sobre residuos de Marruecos. La revisión del marco legal ha servido a Túnez para incluir requisitos más concretos para el ahorro energético e hídrico. Argelia también ha incluido medidas de prevención y reducción de la contaminación en origen y, como segunda opción, la valorización de los residuos generados.

No obstante, puede que se requiera de un determinado tiempo para lograr la completa aplicación de las leyes, ya que se necesita una estructura administrativa adecuada. Además de que el sector industrial tendrá mayor predisposición a someterse a una efectiva aplicación de la normativa si las medidas para el control de su cumplimiento van acompañadas de otras medidas proactivas como, por ejemplo, acuerdos voluntarios o incentivos económicos, existen pocos incentivos para adoptar la PL, aparte de evitar las posibles multas.

Líbano financia auditorías y ha aumentado el importe de los créditos favorables que concede para acelerar la adopción de nuevas tecnologías ambientales, y, entre otras cosas, la modernización ambiental.

En Siria también existen otros incentivos para industrias más limpias y para los inversores que invierten en modernización ambiental y en la adaptación a tecnologías más limpias.

En algunos países se están poniendo en marcha acuerdos e instrumentos voluntarios para aumentar la concienciación del sector industrial e incrementar su responsabilidad ambiental. En este sentido, Marruecos ha implantado el programa de «Responsible Care», que ha sido adoptado por algunas industrias, y en Argelia se están impulsando y dando a conocer mejor los sistemas de gestión ambiental y las auditorías ambientales.

En el marco internacional para la protección del medio ambiente a través de la prevención de la contaminación, todos los países del sur del Mediterráneo son miembros del Convenio de Basilea sobre Residuos Peligrosos y la mayoría han firmado el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. En cuanto a la reducción de la capa de ozono, todos ellos han firmado o ratificado también el Protocolo de Montreal y sus modificaciones, a excepción de la de Pekín de 1999. Por lo que respecta al cambio climático, sólo Marruecos y Túnez han ratificado, y Egipto firmado, el Protocolo de Kyoto.

En el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo, y respecto a los protocolos centrados principalmente en las actividades situadas en tierra, todos los países del sur del Mediterráneo han ratificado el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación Causada por Fuentes y Actividades Terrestres, aunque únicamente Marruecos y Túnez han aceptado las modificaciones de 1995, que incluyen, entre otros, los principios de precaución y de «quien contamina, paga», las alternativas de producción limpia (APL), las mejores prácticas ambientales (MPA) y tecnologías más limpias, los cuales deben tenerse en cuenta al elaborar los planes

nacionales de lucha contra la contaminación. El Protocolo sobre Sustancias Peligrosas ha sido ratificado por Marruecos y Túnez, mientras que Argelia y Libia lo han firmado.

3.1.1. ARGELIA

Introducción

Argelia es un país árabe ubicado en el norte de África, a orillas del Mediterráneo. Tiene una superficie total de 2.381.740 km² y una población aproximada de 31,3 millones de habitantes.

La gran importancia en la economía de este país reside en el sector de los hidrocarburos. Argelia posee la quinta mayor reserva de gas natural del mundo, es el segundo país exportador de gas y ocupa el decimocuarto puesto en reservas de crudo.

En los últimos años, la economía argelina ha registrado un crecimiento anual aproximado del 4%, no obstante, se ha logrado reducir poco la elevada tasa de desempleo y mejorar el nivel de vida de la población de manera sustancial. El Gobierno pretende continuar sus esfuerzos para diversificar la economía y atraer inversiones nacionales y extranjeras en sectores distintos al energético.

Tabla 3.1.1. Indicadores de la situación socioeconómica de Argelia

Superficie	10 ⁶ km ²	2,4
Población	millones	31,3
Crecimiento de la población	%	1,62
Esperanza de vida	años	70,7
Analfabetismo total	% edad>15	31,1
Analfabetismo femenino	% edad>15	40,4
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	956
PIB actual	10 ⁹ €	47,7
Crecimiento del PIB	% anual	4,1
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	143,0
PPA de PIB per cápita	100 €	45,4
Formación bruta de capital	% del PIB	25,2
VA en agricultura	% del PIB	12,4
VA en industria	% del PIB	62,2
VA en servicios	% del PIB	25,4
Exportaciones	% del PIB	33,5
Importaciones	% del PIB	23,4
Líneas telefónicas operativas (2001)	por 1.000 hab.	64
Ordenadores personales (2001)	por 1.000 hab.	7,1

Fuente: Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2002) (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido)

Industria y medio ambiente

Argelia ha experimentado un crecimiento económico significativo durante las últimas cuatro décadas, el cual ha estado marcado por un desarrollo importante de la industria. Como consecuencia, un gran número de industrias se ha establecido en el norte del país, cerca de las grandes zonas urbanas y prácticamente no se ha tenido en cuenta el desarrollo sostenible.

Las tecnologías se eligieron exclusivamente en función del criterio de la productividad y, con frecuencia, a expensas de la contaminación, por lo que Argelia se enfrenta hoy en día a un grave problema de contaminación. La industria, y en concreto el sector de la minería y de las industrias petroquímica, química y metalúrgica, es la principal responsable de la contaminación del país.

La industria se concentra en las zonas litorales (menos del 2% de la superficie total del país), donde también existe una mayor densidad de población (alrededor de las grandes zonas urbanas industrializadas y de las ciudades y, sobre todo, en Argel, Orán, Constantina, Annaba y Skikda).

El sector industrial privado se compone, en su inmensa mayoría, de pequeñas y medianas empresas (PYME), cuyo número oscila entre las 25.000 y las 35.000 unidades. El 93% de ellas son microempresas con menos de 10 trabajadores. Dichas PYMES se encuentran en todas las ramas de actividad, sobre todo en los sectores del textil y la confección, de la curtición y la zapatería, de los materiales de construcción, de la agroalimentación y de las industrias de transformación, y generan gran cantidad de residuos y aguas residuales.

Los principales impactos de la industria en el medio ambiente en Argelia son:

- La degradación de la calidad del aire (emisiones de contaminantes atmosféricos, como los gases de combustión, humo y polvo, vapores de metales pesados, etc.);
- La contaminación de los recursos hídricos (ríos, acuíferos, presas, aguas costeras, etc.);
- La generación de residuos industriales;
- Las principales áreas de actividad industrial del país se extienden a lo largo de la zona litoral.

Industria de la pasta y el papel

La industria de la pasta y el papel, como muchos otros sectores de la economía argelina, está cada vez más dirigida hacia la privatización. Se ha completado el marco jurídico y se están realizando esfuerzos para atraer potenciales inversionistas. Éstos incluyen reuniones intensivas y seminarios dirigidos a la completa comunicación de detalles de la nueva política y de los muchos incentivos que ofrece.

Tabla 3.1.2. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Argelia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	41.960
Capacidad de producción de papel y cartón	t	137.000
Capacidad de producción de pasta	t	14.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	6,30
Ratio de operación de papel y cartón	%	28
Ratio de operación de pasta	%	14
Fábricas de papel y cartón	-	5
Fábricas de pasta	-	1
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	2.400

Fuente: Annual Review- Africa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

GIPEC (Groupe Industriel des Papiers et de la Cellulose Head Office) es la compañía público-privada responsable de la producción de la pasta y el papel en Argelia.

El sector de la pasta utiliza como materia prima plantas anuales como hierba de esparto y paja. En los últimos años ha habido un declive como consecuencia de dificultades en su recolección, tasación, transporte y procesos técnicos. La producción de esparto también ha ido en declive por el aumento de pasta de maderas nuevas, rentables, tales como el eucalipto. La estrategia que se pretende llevar a cabo es continuar con el uso de la hierba de esparto para la fabricación de pasta en favor de la fibra secundaria.

El ratio de papel recuperado se encuentra actualmente alrededor del 10%, mientras que se estima un total disponible de 400.000 toneladas, impulsado por el incremento de embalajes de mercancías de importaciones.

El consumo per cápita de papel y cartón en Argelia en los años 2002, 2001 y 2000 ha sido de unos 6,30 kg/hab año. El consumo anual de papel y cartón en los últimos años se ha mantenido en unas 225.000 toneladas y la producción en unas 41.000 toneladas anuales.

Según datos obtenidos de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) en cuanto a producción en los años 2003, 2002 y 2000 se tienen los siguientes: 7.000 t/a de cartón para embalajes, 3.000 t/a de papel sanitario-doméstico, 32.000 t/a de papel recuperado, 14.000 t/a de papel de imprenta, 21.000 t/a de papel y cartón para embalajes.

Como se ha podido observar de los datos anteriores, Argelia es un país que consume más papel y cartón de lo que produce, lo cual pone de manifiesto su actividad importadora. Las importaciones totales, de papel y cartón en el año 2002 fueron un 10% mayores comparadas con el año anterior, 2001. En el año 2003 se importaron 17.000 t de pasta química, 32.800 t de papel estucado, 1.500 de papel sanitario-doméstico, 28.600 de papel prensa y 52.900 de papel de imprenta, entre otros.

No obstante, Argeria está llevando a cabo programas de reestructuración de fábricas de pasta, papel y cartón, mediante proyectos de modernización. Con esta reestructuración el mercado doméstico pretende ofrecer una importante oportunidad, potenciando además el mercado de exportación. Los inversionistas privados están pensando en invertir en nuevas capacidades en este sector, por lo que se abre una nueva esperanza a un sector que ha estado estancando durante algún tiempo.

3.1.2. EGIPTO

Introducción

Egipto es un país árabe ubicado en el norte de África, a orillas del Mediterráneo. Tiene una superficie total de 1.001.450 km² y una población aproximada de 66,4 millones de habitantes.

Además de la capacidad agrícola del valle y el delta del Nilo, entre los recursos naturales de Egipto se cuentan el petróleo, el gas natural, los fosfatos y el mineral de hierro. El país cuenta con gas natural suficiente para satisfacer la demanda interna durante muchos años.

El sector industrial sigue estando dominado por la empresa pública, que controla prácticamente toda la industria pesada, si bien se ha iniciado un proceso de reformas y privatización del sector público cuyo fin es aumentar las oportunidades del sector privado. La construcción, los servicios no financieros y el mercado interior están privatizados en su mayor parte. Ello ha incentivado un crecimiento constante del PIB y de la tasa de crecimiento anual.

Egipto es la segunda economía del mundo árabe. La economía está dominada por el sector servicio, el cual cuenta con prácticamente la mitad del PIB.

Tabla 3.1.3. Indicadores socioeconómicos de la situación de Egipto

Superficie	10 ⁶ km ²	1,0
Población	Millones	66,4
Crecimiento de la población	%	1,77
Esperanza de vida	Años	68,9
Analfabetismo total	% edad>15	43,1
Analfabetismo femenino	% edad>15	54,1
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	726
PIB actual	10 ⁹ €*	76,9
Crecimiento del PIB	% anual	3,0
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	221
PPA de PIB per cápita	100 €	31,7
Formación bruta de capital	% del PIB	17,1
VA en agricultura	% del PIB	16,8
VA en industria	% del PIB	35,0
VA en servicios	% del PIB	48,2
Exportaciones	% del PIB	18,2
Importaciones	% del PIB	23,4
Líneas telefónicas operativas	por 1.000 hab.	147
Ordenadores personales	por 1.000 hab.	15,5

Fuente: Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido)

Industria y medio ambiente

La industria es uno de los principales sectores que están contribuyendo a impulsar la economía egipcia. Incluyendo las manufacturas y la minería, el sector industrial egipcio aporta alrededor del 20% del PIB y emplea a aproximadamente a un 14% de la mano de obra. La capacidad de fabricación de Egipto se concentra en relativamente pocos sectores industriales. Siete sectores representan más del 80% de los establecimientos. Los tres mayores son el sector de la alimentación y las bebidas, el textil y el de la industria química, los de mayor antigüedad en Egipto. Tras ellos se sitúan el sector de los minerales no metálicos, la producción de metales, productos químicos y los metales básicos.

Egipto es altamente dependiente de la importación; por ejemplo, necesita importar prácticamente la totalidad del consumo de madera y papel.

En Egipto, la distribución geográfica de la industria es muy desigual. En la actualidad, el 41% de la producción industrial se concentra en El Gran Cairo, el 17% en el delta del Nilo, el 16,8% en Alejandría y el 14,2%, en la zona del canal de Suez. El 11% restante de la producción industrial se sitúa en el Alto Egipto. Este reparto desigual ha impulsado al país a embarcarse en un nuevo plan para incentivar la inversión industrial en nuevas comunidades ubicadas en las zonas no agrícolas del país.

El sector público, dominado por las grandes empresas, ostenta un lugar predominante en las industrias química y farmacéutica, en la ingeniería y en las eléctricas. Además, posee grandes fábricas textiles y refinerías de azúcar.

El sector privado, dominado por las pequeñas y medianas empresas (PYME), engloba empresas dedicadas a la alimentación y las bebidas, a los productos lácteos, al hilado y tejido y a diversas artesanías. Algunas de las empresas del sector privado con mayores beneficios son la producción de herramientas ligeras y consumibles eléctricos y la estampación de tejidos y confección.

Alejandría es una zona fuertemente industrializada donde se produce: papel, metal, productos químicos, productos farmacéuticos, plásticos, productos alimentarios, aceites, detergentes y petróleo. La mayoría de los residuos que genera esta industria se vierten en el lago Mariout, al que también van a parar las aguas residuales tratadas procedentes de la estación depuradora de Alejandría.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.1.4. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Egipto. Año 2002

Capacidad de producción de papel y cartón	t	470.000
Capacidad de producción de pasta	t	140.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	13
Fábricas de papel y cartón	-	11
Fábricas de pasta	-	3
Nº empleados en la industria de la pasta y el papel	-	5.500

Fuente: Annual Review- Africa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

En los últimos años el consumo per cápita de papel y cartón ha sido de unos 13 kg/hab año, siendo el consumo anual de 933.700 toneladas en el año 2002. La producción de papel y cartón se ha mantenido en estos últimos años en unas 460.000 t/a, y la producción de papel recuperado se ha mantenido en 380.000 t/a. Egipto consume mayor cantidad de papel y cartón de la que produce, lo cual pone de manifiesto su actividad importadora.

Según datos obtenidos de la de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) en cuanto a producción de diferentes tipos de pasta y papel en los últimos años se tienen los siguientes: 70.000 t/a de cartón para embalajes, 90.000 t/a de papel sanitario-doméstico, 380.000 t/a de papel recuperado, 100.000 t/a de papel para imprenta, 240.000 t/a de papel y cartón para embalaje, entre otros.

Se tienen los siguientes datos en cuanto a importaciones registradas en el año 2003: 56.100 t de pasta química, y 56.100 t de pasta al sulfato blanqueada, 1.800 t de pasta mecánica, 7.100 t de papel estucado, 265.000 t de papel prensa, 2.400 t de papel recuperado, y 87.000 t de papel de imprenta, entre otros.

Como se ha podido observar Egipto importa la mayor parte del papel que consume, no obstante está llevando a cabo programas, mediante instalación de nuevas plantas o modernización de las existentes, para reemplazar parte de la importación con producción nacional.

3.1.3. LÍBANO

Introducción

El Líbano es un país árabe ubicado en la región de Oriente Medio y que linda con el mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 10.400 km² y una población aproximada de 4,4 millones de habitantes.

En Líbano opera un competitivo sistema de libre mercado y el país posee una fuerte tradición comercial de *laissez-faire*. La economía libanesa está principalmente orientada a los servicios; los principales sectores en crecimiento son la banca y el turismo.

Tabla 3.1.5. Indicadores socioeconómicos de la situación de Líbano

Superficie	10 ³ km ²	10,4
Población	millones	4,44
Crecimiento de la población	%	1,26
Esperanza de vida	años	71
Analfabetismo total	% edad>15	13
Analfabetismo femenino	% edad>15	18
Energía per cápita	kg eq. petróleo	1.169
PIB actual	10 ⁹ €*	14,8
Crecimiento del PIB	% anual	1
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	16,2
PPA de PIB per cápita	100 €	46,2
Formación bruta de capital	% del PIB	18
VA en agricultura	% del PIB	11,7
VA en industria	% del PIB	21
VA en servicios	% del PIB	67,3
Exportaciones	% del PIB	13,9
Importaciones	% del PIB	41
Teléfonos	por 1.000 h.	ND
Ordenadores	por 1.000 h.	56

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE, Arabic News (2001-2002). (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido; ND = no disponible)

Industria y medio ambiente

En 1999 se identificaron más de 22.000 unidades industriales en Líbano, según el Ministerio de Industria, y 29.282 según la Administración Central de Estadísticas, cifra que representaba un aumento de aproximadamente un 50% desde principios de la década de los noventa. Más del 90% de estas unidades son microindustrias con menos de diez empleados.

La industria se concentra en el Gran Beirut y en el monte Líbano. Debido a la falta de planificación urbanística, la mayor parte de las industrias pequeñas y microindustrias se ubican en zonas residenciales, fuera de las zonas industriales (el 95,6% de las industrias en el Gran Beirut y el 75,3% en el monte Líbano). No obstante, las grandes empresas (dedicadas al procesado de alimentos, al textil, a los productos químicos, y al cemento y los materiales de construcción), en general, sí están emplazadas en las zonas industriales.

Los datos indican que la recuperación del sector industrial ha sido sorprendente, pese a los estragos causados por la guerra. Está previsto que el crecimiento del sector durante el período 2001-2010 sea de entre un 8 y un 10%.

Aproximadamente el 89% de las industrias pertenece a siete subsectores principales: alimentación y bebidas (20%), fabricación de metales (16%), minerales no metálicos (12%), mobiliario (11%), tejido y acabado de textiles (16%), productos de madera (10%) y curtición (6%).

La mayoría de las instalaciones industriales no están equipadas con instalaciones para el control de la contaminación y vierte sus efluentes contaminados en las aguas costeras y superficiales, lo que entraña un grave riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Además, se producen vertidos descontrolados de residuos industriales sólidos y emisiones a la atmósfera.

Industria de la pasta y el papel

El consumo per cápita de papel y cartón en el Líbano en los últimos años ha sido de 45 kg/hab año, siendo el consumo anual de 161.900 toneladas. La producción de papel y cartón se ha mantenido en estos últimos años en unas 42.000 t/a.

En concreto se tienen datos de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) de las producciones de papel sanitario-doméstico y de papel/cartón para embalajes, las cuales se han mantenido a lo largo de los últimos años en 6.000 toneladas y 36.000 toneladas respectivamente.

Como se ha podido observar en el Líbano ocurre lo mismo que en otros países del Sur del Mediterráneo, en los cuales la producción de papel y cartón es muy baja, por lo que se pone de manifiesto la importación de estos productos. De los datos que se tienen, obtenidos a partir de la FAO, se puede decir que en los últimos años se han importado 1.000 t anuales de pasta mecánica, 200 t/a de pasta semiquímica, 12.800 t/a de pasta química, 10.900 t/a de pasta al sulfato blanqueada, 700 t/a de pasta al sulfito blanquea, 1.200 t/a de pasta al sulfato no blanqueada, 22.200 t/a de papel estucado, 2.600 t/a de papel sanitario-doméstico, 12.200 t/a de papel prensa, 65.200 t/a de papel imprenta, y 4.900 t/a de papel recuperado, entre otros.

La industria del papel en el Líbano ha invertido, en estos cinco últimos años, y continua invirtiendo, en tecnología para mejorar la capacidad de producción así como la calidad. El Sindicato de industrias de papel y cartón (Syndicate of Paper and Cardboard Industries) cree que el sector podría producir alrededor de 250.000 toneladas de papel al año.

3.1.4. YAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA POPULAR

Introducción

Libia es un país árabe ubicado en el norte de África a orillas del Mediterráneo. Tiene una superficie total de 1.759.000 km² y una población aproximada de 5,5 millones de habitantes.

El Gobierno domina la economía de orientación socialista de Libia a través del control total de los recursos petrolíferos del país, que representan aproximadamente el 95% de los ingresos por exportación y el 30% del producto interior bruto. Los ingresos generados por el petróleo y una población no muy elevada hacen posible que Libia disfrute del PIB (y de paridad de poder adquisitivo del PIB) más elevados de África. A pesar de los esfuerzos efectuados por diversificar la economía e incentivar la participación del sector privado, el control generalizado de los precios, los créditos, el comercio y las divisas obstaculiza el crecimiento.

Los sectores de la construcción y de la producción no relacionada con el petróleo, que representan aproximadamente el 20% del PIB, han pasado de estar representados casi en exclusiva por las industrias de procesamiento de productos agrícolas a englobar también petroquímicas, siderurgias e industrias del aluminio.

Tabla 3.1.6. Indicadores socioeconómicos de la situación de Libia

Superficie	10 ⁶ km ²	1,8
Población	millones	5,53
Crecimiento de la población	%	2
Esperanza de vida	años	72
Analfabetismo total	% edad>15	18
Analfabetismo femenino	% edad>15	29
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	3.107
PIB actual	10 ⁹ €*	29,24
Crecimiento del PIB	% anual	ND
PPA del PIB estimada	10 ⁹ €	34,2
PPA del PIB per cápita	100 €	65
Formación bruta de capital	% del PIB	13
VA en agricultura	% del PIB	7
VA en industria	% del PIB	44
VA en servicios	% del PIB	49
Exportaciones	% del PIB	36
Importaciones	% del PIB	15
Líneas telefónicas operativas	por 1.000 h.	118
Ordenadores personales	por 1.000 h.	ND

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2000- 2002), Arabic News y ktuell 2004. Harenberg Lexicon Verlag. (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido; ND = no disponible)

Industria y medio ambiente

Como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo industrial de Libia ha dependido en gran medida del sector del petróleo, tanto por lo que respecta a los ingresos generados por las inversiones como a la importación de materias primas. Entre las actividades industriales se cuentan las relacionadas con el petróleo (exploración, producción, transporte y comercio con productos derivados del petróleo), además de los sectores de la siderurgia, los fertilizantes, el cemento, las sustancias químicas y el tratamiento de los alimentos.

Hasta principios de los años ochenta, la totalidad del sector industrial estaba planificada por el Gobierno, el cual había asumido el control sobre los aspectos de la producción industrial que se consideraban sensibles o de una envergadura no asequible para el sector privado del país. No obstante, en la actualidad, la política del Gobierno se inclina a liberar la industria, incluida la de transformación, de su dependencia de la propiedad y del control foráneos. El Gobierno concentra su atención en desarrollar las industrias petroquímicas y petrolíferas.

La industria del procesado de alimentos encabeza el sector de la producción, seguida por otras industrias de importancia, como las textiles, y las fábricas de fertilizantes y de equipamiento de ingeniería.

Aunque el vertido de efluentes industriales sin tratar, a los sistemas de alcantarillado es una práctica extendida entre las PYME de las ciudades libias, se considera que este hecho no origina problemas

de contaminación graves. Las grandes instalaciones de refinerías de petróleo, petroquímicas, siderurgias, químicas, industrias de fertilizantes y de acabados textiles están ubicadas en su mayor parte a lo largo del litoral, particularmente en el golfo de Surt. Con frecuencia, estas industrias realizan vertidos de efluentes sin tratar a través de emisarios directos al Mediterráneo.

Industria de la pasta y el papel

El consumo per cápita de papel y cartón en los últimos años en Libia ha sido de 3,14 kg/hab año, siendo el consumo anual de 17.100 toneladas de papel y cartón. La producción de papel y cartón se ha mantenido a lo largo de los últimos años en 6.000 t/a.

En este caso también el consumo es mayor que la producción, por lo que se pone de manifiesto su actividad importadora. Los últimos datos obtenidos a partir de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) indican que en el año 2003 la importación fue de: 1.300 t de pasta química, 600 t de pasta al sulfato blanqueada, 700 t de pasta al sulfito blanqueada, 857 t de pasta semiquímica, 2.400 t de materiales para cajas, 400 t de papel estucado, 1.300 t de papel prensa, 3.900 t de papel imprenta, y 5.400 t de papel para embalaje, entre otros.

3.1.5. MARRUECOS

Introducción

Marruecos es un país árabe ubicado en el norte de África, a orillas del Mediterráneo. Tiene una superficie total de 710.000 km² y una población aproximada de 29,5 millones de habitantes.

La economía marroquí está cada vez más diversificada. Marruecos posee importantes reservas minerales, un sector agrícola (pesca incluida) diversificado, una amplia industria turística y un sector de industrias de transformación en desarrollo (principalmente centrado en la confección).

Aproximadamente un tercio del sector de la industria de transformación está relacionado con los fosfatos y otro tercio, con la agricultura. El tercio restante se divide entre la industria textil, de confección y metalúrgica.

Desde los años ochenta, el Gobierno marroquí ha proseguido un programa de reformas económicas con el apoyo del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial. En el transcurso de la última década, las reformas han contribuido a aumentar la renta per cápita, a disminuir la inflación y a estrechar los déficits contables.

No obstante, el crecimiento de la población, la migración de las zonas rurales a las urbanas y el incremento de la mano de obra activa están contribuyendo a aumentar el desempleo urbano, pese al fuerte crecimiento económico y a la creación de nuevos puestos de trabajo.

Tabla 3.1.7. Indicadores socioeconómicos de la situación de Marruecos

Superficie	10 ⁶ km ²	0,7
Población	millones	29,6
Crecimiento de la población	%	1,58
Esperanza de vida	años	68,4
Analfabetismo total	% edad>15	49,3
Analfabetismo femenino	% edad>15	61,7
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	359
PIB actual	10 ⁹ €*	31,9
Crecimiento del PIB	% anual	4,5
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	98,5
PPA de PIB per cápita	100 €	33,4
Formación bruta de capital	% del PIB	25,2
VA en agricultura	% del PIB	16,1
VA en industria	% del PIB	31,1
VA en servicios	% del PIB	52,8
Exportaciones	% del PIB	29,9
Importaciones	% del PIB	35,9
Líneas telefónicas operativas (2001)	por 1.000 hab.	204
Ordenadores personales (2001)	por 1.000 hab.	13,7

Fuente: Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2002) (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido)

Industria y medio ambiente

Marruecos posee una de las industrias mineras más importantes de África y su industria petrolífera constituye un subsector esencial de la economía del país. Por su parte, la industria química está registrando un nuevo auge gracias a la explotación de la riqueza de fosfatos.

En el sector paraquímico, la industria farmacéutica ostenta una posición destacada y el país es uno de los principales mercados de la industria de lubricantes africana. La industria textil y la de curtidos representan aproximadamente una cuarta parte de la producción industrial total. En cuanto al procesado de alimentos, las principales industrias son la producción de azúcar, la molienda de harina y los productos lácteos. Marruecos posee asimismo varias fábricas de cemento.

Con respecto a las actividades del sector de la producción, el desglose por subsectores es el siguiente:

- Industria agroalimentaria (35%, con más de 1.641 empresas);
- Industria química y paraquímica (33%, con 1.963 empresas);
- Industria del textil y de los curtidos (17%, con 1.744 empresas);
- Industria mecánica, eléctrica y electrónica (12% correspondiente a las industrias eléctricas y mecánicas y 3% a las electrónicas; más de 1.051 empresas en conjunto).

En Marruecos, el 95% del entramado de fabricación está integrado por pequeñas y medianas empresas (PYMES). Más de 14.000 PYMES registradas se hayan distribuidas en centros urbanos y

enclaves industriales del país, con aproximadamente un 50% de las grandes instalaciones ubicadas en Casablanca, en la región de El Mohammédia. Su contribución al PIB es de un 36% y proporcionan el 52% del total de empleo. La ubicación de las PYMES en zonas urbanas densamente pobladas tiene consecuencias negativas tanto para el entorno como su población.

Las actividades industriales, con especial incidencia de los sectores químicos y paraquímico, agroalimentario (azúcar y aceites vegetales), textil y curtidos, tienen impactos negativos en el medio y, en especial, en los recursos hídricos. La contaminación de las aguas superficiales provocada por las actividades industriales es elevada, en particular en las cuencas del Sebu y del Oum er-R'bia.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.1.8. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Marruecos. Año 2002

Superficie Forestal	km ²	85.471
Capacidad de producción de papel y cartón	t	160.000
Capacidad de producción de pasta	t	125.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	9
Ratio de operación de papel y cartón	%	80
Ratio de operación de pasta	%	71
Fábricas de papel y cartón	-	5
Fábricas de pasta	-	1
Nº empleados en la industria de la pasta y el papel	-	2.400

Fuente: Annual Review- Africa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

El consumo de papel y cartón per cápita en los últimos años ha sido de unos 9 kg/hab/a, siendo el consumo anual total de 250.000 toneladas. La producción de pasta y papel se ha mantenido en los últimos años en 129.000 t/a, y la producción anual de papel recuperado en 30.000 toneladas.

Según datos obtenidos de ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) se han producido 107.000 t/a de pasta química en los últimos años, 107.000 t/a de pasta blanqueada al sulfato; 1.000 t/a de producción de papel estucado, 1.000 t/a de papel sanitario-doméstico, 2.000 t/a de papel prensa, 30.000 t/a de papel recuperado, y 34.000 t/a de papel imprenta, entre otros.

De los últimos datos obtenidos (FAO) se tiene que la importación en el año 2003 ha sido de: 17.464 t de pasta química, 17.060 t de pasta al sulfato blanqueada, 404 t de pasta al sulfato blanqueada, 1.000 t de pasta al sulfato no blanqueada, 400 t de pasta mecánica, 590 t de pasta semiquímica, 6.293 t de papel estucado, 478 t de papel sanitario-doméstico, 15.327 t de papel prensa, 3.118 t de papel recuperado, y 21.495 t de papel imprenta, entre otros.

En cuanto a la exportación de productos del sector de la pasta y el papel, los últimos datos obtenidos (FAO) indican que se han exportado las siguientes cantidades en el año 2003: 75.473 t de pasta química, 75.473 t de pasta al sulfato blanqueada, 25 t de pasta mecánica, 2.529 t de pasta semiquímica, 149 t de papel estucado, 653 t de cartón para cajas plegables, 34 t de papel sanitario-doméstico, 42 t de papel recuperado, y 1.507 t de papel imprenta, entre otros.

La industria de la pasta y el papel en Marruecos es totalmente privada. La fábrica de Sobe en el reino de Sidi Yahia du Gharb, en la costa atlántica, ha aumentado la producción de pasta en unas 125.000 t/a tras haber alcanzado menos de 100.000 t/a en el pasado. La fábrica, propiedad de CELLUMA (Cellulose of Morocco) produce pasta de fibra corta de eucalipto para exportación.

La compañía principal de cartón, CMCP (Compagnie Marocaine des Papiers et Cartons) situada en Kenitra, cerca de Rabat, produce cartón corrugado para cajas y envases de varias clases.

3.1.6. REPÚBLICA ÁRABE SIRIA

Introducción

Siria es un país árabe ubicado en Oriente Medio y que linda con el mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 185.180 km² y una población aproximada de 17,8 millones de habitantes.

Es un país en vías de desarrollo, de rentas intermedias y con una economía diversificada basada en la agricultura, la industria y un sector energético en expansión.

A pesar de las importantes reformas y proyectos de desarrollo iniciados a principios de los 90, la economía Siria sigue influenciada negativamente por unas empresas públicas de escaso rendimiento, un nivel de inversiones escaso y una productividad industrial y agrícola relativamente bajas. La industria del petróleo ha representado casi las tres cuartas partes de los ingresos procedentes de la exportación.

El Gobierno ha reconducido sus prioridades de desarrollo económico, desde la expansión industrial hasta diversos sectores agrícolas, con el objetivo de lograr la autosuficiencia, potenciar los ingresos en concepto de exportaciones y contener la emigración de zonas rurales.

Tabla 3.1.9. Indicadores socioeconómicos de la situación de Siria

Superficie	10 ³ km ²	185
Población	millones	17,76
Crecimiento de la población	%	2,45
Esperanza de vida	años	70
Analfabetismo total	% edad>15	24
Analfabetismo femenino	% edad>15	37
Energía per cápita	kg eq. petróleo	1.137
PIB actual	10 ⁹ €*	21,9
Crecimiento del PIB	% anual	3
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	59,4
PPA de PIB per cápita	100 €	35
Formación bruta de capital	% del PIB	24
VA en agricultura	% del PIB	23
VA en industria	% del PIB	28
VA en servicios	% del PIB	49
Exportaciones	% del PIB	36
Importaciones	% del PIB	30
Teléfonos	por cada 1.000 h.	115
Ordenadores	por cada 1.000 h.	16,3

Fuente: Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2000-2003) (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido)

Industria y medio ambiente

El tejido industrial sirio está muy diversificado; los sectores más importantes, controlados predominantemente por el Estado, son el alimentario, el textil, el químico, el de ingeniería y el del cemento. Con todo, el sector privado ha empezado a despuntar en las industrias textiles, alimentaria y de cemento.

Siria considera que la calidad es un factor decisivo para sobrevivir a la competencia del comercio industrial mundial, por lo que ha prestado especial atención a dar a conocer los conceptos de la Gestión Total de la Calidad (GTC) y la Producción más Limpia (PL) y fomentado la obtención de certificados ISO por parte de las industrias nacionales.

La mayor parte de las industrias son PYMES, y las principales zonas de actividad se centran en los alrededores de Damasco, Alepo y Homs.

Los principales contaminantes generados por estas industrias son aguas residuales y emisiones a la atmósfera. Los residuos sólidos no se consideran una prioridad porque las empresas los reciclan y reutilizan o los venden para otros usos.

El tratamiento al que hay que someter a los residuos que generan es muy caro para este tipo de empresas, que no pueden costárselo sin ayuda económica o incentivos de algún tipo. Por ello, el tratamiento de los contaminantes depende de la disponibilidad de técnicas de bajo coste en el contexto de las normativas y exigencias existentes.

El Gobierno actual ha demostrado su compromiso con un aumento significativo de las partidas previstas para la conservación del entorno y los servicios públicos correspondientes en los presupuestos de los ministerios e instituciones implicados.

Industria de la pasta y el papel

El consumo per cápita de papel y cartón en Siria en los últimos años ha sido de unos 5 kg/hab año, siendo el consumo anual de papel y cartón de unas 75.000 toneladas. La producción de papel y cartón en Siria se ha mantenido en unas 1.000 t/a a lo largo de estos últimos años, la mayor parte de esta producción correspondiente a papel y cartón para embalajes.

Puesto que Siria produce muy poco papel y cartón, se ve obligada a importar las cantidades necesarias para el consumo. De los últimos datos obtenidos a partir de la FAO se tiene que en el año 2003 se produjeron las siguientes importaciones: 10.857 t de pasta química, 10.150 t de pasta al sulfato blanqueada, 707 t de pasta al sulfito blanqueada, 12 t de pasta mecánica, 100 t de pasta semiquímica, 2.944 t de papel estucado, 5.953 t de papel sanitario-doméstico, 4.460 t de papel prensa, 8.300 t de papel recuperado, y 20.652 t de papel imprenta, entre otros.

3.1.7. TÚNEZ

Introducción

Túnez es un país árabe ubicado en el norte de África, a orillas del mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 163.610 km² y una población de 9,5 millones de habitantes.

Históricamente, el crecimiento económico de Túnez ha dependido del petróleo, de los fosfatos, de la agricultura y del turismo. Las políticas económicas del Gobierno tuvieron un escaso éxito durante los primeros años de independencia. En 1986, el Estado lanzó un programa de ajuste estructural destinado a liberalizar los precios, reducir las tarifas y reorientar Túnez hacia una economía de mercado.

Desde la aplicación del programa de estabilización, el crecimiento de la producción interior, medida en función del crecimiento real del PIB, aumentó del 2,8% registrado en el período 1982-1986 al 4,8% registrado entre 1991 y 2001. Paralelamente, la inflación y el déficit en cuenta corriente decrecieron de modo significativo.

En 1990, Túnez se adhirió al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT). Además, hasta el año 2002, el Gobierno privatizó 163 empresas estatales.

El desempleo continúa siendo muy elevado para la economía del país (con una tasa de un 15% de la población activa) y se está viendo agravado por el rápido crecimiento de la mano de obra.

Tabla 3.1.10. Indicadores socioeconómicos de la situación de Túnez

Superficie	10 ³ km ²	164
Población	millones	9,8
Crecimiento de la población	%	1,2
Esperanza de vida	años	72,7
Analfabetismo total	% edad>15	26,8
Analfabetismo femenino	% edad>15	36,9
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	825
PIB actual	10 ⁹ €*	18,1
Crecimiento del PIB	% anual	1,9
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	55,2
PPA de PIB per cápita	100 €	56,5
Formación bruta de capital	% del PIB	26,1
VA en agricultura	% del PIB	10,4
VA en industria	% del PIB	29,1
VA en servicios	% del PIB	60,5
Exportaciones	% del PIB	45,5
Importaciones	% del PIB	50,4
Líneas telefónicas operativas	por cada 1.000 h.	149
Ordenadores personales	por cada 1.000 h.	23,7

Fuente: Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2002) (PPA = paridad de poder adquisitivo; VA = valor añadido)

Industria y medio ambiente

El sector de la producción ha pasado a ser uno de los más dinámicos de la economía tunecina, mostrando una clara tendencia hacia la privatización de la industria, enmarcada en los programas de reestructuración económica. Aunque el sector de los servicios domina la economía, la industria continúa siendo uno de los principales contribuidores al crecimiento del PIB (cerca del 20% en 1999), la creación de empleo y la generación de moneda fuerte resultado de la exportación.

Según los datos de los que se disponen, en 2001 el sector industrial tunecino estaba constituido por 5.262 empresas (véase la tabla siguiente) con 10 o más empleados, 2.292 de las cuales se dedicaban íntegramente a la exportación. En la tabla se indica la distribución por sectores. Más del 85% de las empresas industriales de Túnez son PYME.

Tabla 3.1.11. Número de industrias en Túnez según el Sector

SECTOR	Nº INDUSTRIAS	%
Elaboración de alimentos	800	15
Materiales de construcción, cerámica y vidrio	409	8
Mecánica y metalurgia	464	9
Eléctrica y electrónica	262	5
Química (excluyendo las industrias del plástico)	213	4
Textil y confección	2.135	41
Madera, corcho y mobiliario	207	4
Curtiduría y calzado	308	6
Varios	464	9
Total	5.262	100

Fuente: Agencia para la Promoción de la Industria.

Los principales problemas de contaminación están vinculados a un consumo desmedido de agua y energía y con la generación sustancial de residuos sólidos.

Industria de la pasta y el papel

El consumo per cápita de papel y cartón en Túnez en los últimos años ha sido de unos 20 kg/hab año, siendo el consumo anual de estos últimos años de unas 200.000 toneladas.

Tabla 3.1.12. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Túnez. Año 2002

Capacidad de producción de papel y cartón	t	140.000
Capacidad de producción de pasta	t	30.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	20
Fábricas de papel y cartón	-	10
Fábricas de pasta	-	1
Nº empleados en la industria de la pasta y el papel	-	2.000

Fuente: Annual Review- Africa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

La industria del papel y pasta tunecina produce papeles de imprenta, cartón corrugado, contenedores de cartón y pasta de fibra corta (principalmente para exportación). Con una red de fábricas de tamaño medio situadas sobre todo en el centro de Túnez y a lo largo de la costa, el país reúne cerca del 50% de la producción local requerida, mayor porcentaje que sus países vecinos Marruecos y Argelia. La producción de papel y cartón se ha mantenido en los últimos años en 94.000 t/a.

De los últimos datos obtenidos a partir de la FAO se tienen los siguientes: la producción de papel sanitario-doméstico en los últimos años se ha mantenido en 4.000 t/a, la producción de papel recuperado ha sido de 11.000 t/a, la producción de papel imprenta se ha mantenido en 38.000 t/a, así como también se ha mantenido en estos últimos años la producción de papel y cartón para embalajes en 52.000 t/a.

En cuanto a los datos obtenidos sobre los productos papeleros importados en el año 2003 se tienen los siguientes: 33.900 t de pasta química, 33.900 t de pasta al sulfato blanqueada, 17.000 t de pasta al sulfato no blanqueada, 31.200 t de materiales para cajas, 6.400 t de papel estucado, 17.500 t de

cartón para cajas plegables, 700 t de papel sanitario-doméstico, 17.000 t de papel prensa, 4.500 t de papel recuperado, y 9.200 t de papel de imprenta, entre otros.

3.2. PAÍSES DEL NORTE DEL MEDITERRÁNEO

Los cinco países del norte del Mediterráneo que componen este grupo - Grecia, Francia, Italia, Mónaco y España - se consideran estados europeos de renta elevada y todos, a excepción de Mónaco, son miembros de la Unión Europea (UE). Estos países comparten la obligación de cumplir la normativa de la UE y de adaptar sus directivas al Derecho nacional a corto plazo. Asimismo, están obligados a adoptar las medidas necesarias para satisfacer los requisitos de aquella normativa europea.

Industria y medio ambiente

El estado del medio ambiente en la UE ha ido empeorando de forma constante en las últimas décadas. Cada año se generan alrededor de 2.000 millones de toneladas de residuos y esta cifra está aumentando. Por todo ello, la protección del medio ambiente es uno de los principales retos a que se enfrenta Europa.

Como en los demás Estados miembros de la UE, el sector industrial en los países de la subregión norte del Mediterráneo es muy heterogéneo, presenta grandes diferencias entre regiones y a menudo se concentra cerca de zonas urbanas muy pobladas. La industria se ha visto forzada a invertir en equipos de tratamiento ambiental durante muchos años, y también a adoptar tecnologías más respetuosas con el medio ambiente. Una de las principales actividades industriales es la producción de automóviles, lo que representa una diferencia cuantitativa y cualitativa respecto a otras zonas del Mediterráneo y adquiere especial importancia al analizar el efecto de la cadena de suministros, que facilita la difusión de la PL y los sistemas de gestión ambiental.

Marco político y legal

Como Estados miembros de la UE, los países de la subregión norte del Mediterráneo, a excepción de Mónaco, están sometidos a la normativa europea.

Las medidas ambientales normalmente se adoptan mediante directivas o reglamentos propuestos por la Comisión Europea, si bien tienen que contar con la aceptación del Consejo Europeo. Una vez adoptadas, la Comisión se encarga de controlar su aplicación. La Dirección General de Medio Ambiente es el organismo de la Comisión encargado de cuestiones como el medio ambiente, la seguridad nuclear y la protección civil.

Durante las décadas de 1970 y 1980, la legislación ambiental de la UE se centraba principalmente en establecer límites a las emisiones de determinados contaminantes. Hacia los años 1990 se pusieron en marcha iniciativas de mayor calado como la regulación del consumo de recursos naturales o la prevención de la contaminación a través de normas «horizontales».

Muchas de estas normas se adoptaron a lo largo del Quinto Programa de Acción en materia de Medio Ambiente de la Comunidad Europea, en el que se establecía la estrategia ambiental de la Unión para el período 1992-2000. El Programa incluía un planteamiento integrado de lucha contra la contaminación y acciones para reducir los residuos que se traspusieron en la Directiva IPPC, que en buena medida coincide con los principios de la PL.

Con la Directiva IPPC la UE introdujo el concepto de las mejores técnicas disponibles (MTD) e inició la publicación de documentos de consulta relacionados, los BREF, en los que se describen soluciones de PL adoptadas por determinados sectores y aplicadas a tecnologías concretas.

El objetivo de esta Directiva es prevenir o reducir al mínimo la contaminación atmosférica, del suelo y del agua originada por las emisiones de las instalaciones industriales de los países miembros, con el objetivo de lograr un mayor nivel de protección ambiental. En la Directiva IPPC se definen las obligaciones mínimas que deben cumplir todas las plantas industriales afectadas, tanto las ya

existentes como las de nueva creación. Estas obligaciones mínimas consisten en una lista de medidas de prevención de la contaminación (atmosférica, del suelo y del agua) derivada de efluentes industriales y otros residuos y sirven de base para redactar los permisos de explotación de las instalaciones industriales.

3.2.1. ESPAÑA

Introducción

España es un país europeo industrializado ubicado en la parte occidental de la cuenca mediterránea. Tiene una superficie total de 504.750 km² y una población de 41 millones de habitantes.

Tabla 3.2.1. Indicadores socioeconómicos de la situación de España

Superficie	10 ³ km ²	505
Población	millones	41,2
Crecimiento de la población	%	0,16
Esperanza de vida	años	78
Analfabetismo total	% edad>15	2
Analfabetismo femenino	% edad>15	3
Energía per cápita	kg eq. petróleo	3.084
PIB actual	10 ⁹ €*	556,7
Crecimiento del PIB	% anual	2
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	709,2
PPA de PIB per cápita	100 €	177,3
Formación bruta de capital	% del PIB	25
VA en agricultura	% del PIB	4
VA en industria	% del PIB	30
VA en servicios	% del PIB	66
Exportaciones	% del PIB	30
Importaciones	% del PIB	31
Teléfonos	por cada 1.000 h.	1.086
Ordenadores personales	por cada 1.000 h.	168

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

El empleo ha crecido considerablemente, lo que ha permitido a la economía crecer con mayor rapidez que la media de la zona euro.

En los últimos años, el comportamiento económico de España ha hecho gala de una notable fortaleza gracias a las reformas estructurales llevadas a cabo desde mediados de la década de los 90 y a la estabilidad del marco político macroeconómico.

Industria y medio ambiente

El rápido desarrollo experimentado por España en el último cuarto de siglo ha convertido al país en la octava economía mundial de entre los países de la OCDE. En muchos casos, este crecimiento ha ido acompañado de una mayor presión sobre el medio ambiente, tanto por lo que respecta al uso de recursos naturales (agua, suelo, etc.) como a la generación de contaminación.

Las principales industrias del país son las de alimentación y bebidas, las metalúrgicas, las de productos químicos, los astilleros, las automovilísticas, los fabricantes de maquinaria, las de textil y confección y el turismo. Entre las mercancías que exporta España destacan la maquinaria, los vehículos motorizados y los productos de alimentación y consumo.

Los ingresos de las industrias se distribuyen del modo siguiente:

Tabla 3.2.2. Ingresos por sectores manufactureros (2001)

SECTOR	INGRESOS 10 ⁹ €
Alimentación, bebidas y tabaco	54.259
Textil	13.400
Piel, zapatos	4.086
Madera, corcho	5.451
Papel, artes gráficas	18.331
Refinado, productos químicos	40.108
Plásticos, gomas	12.446
Productos minerales no metálicos	18.463
Metalurgia	16.876
Productos metálicos	19.854
Maquinaria, equipos	23.547
Productos eléctricos y electrónicos	13.684
Vehículos	46.480
Otros	9.835
TOTAL	296.820

Algunas de las mayores amenazas para el medio ambiente las causan el transporte, la producción de energía eléctrica y la agricultura.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.2.3. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en España. Año 2002

Superficie forestal	km ²	262.732
Capacidad de producción de papel y cartón	t	5.545.000
Capacidad de producción de pasta	t	1.968.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	158
Ratio de operación de papel y cartón	%	93
Ratio de operación de pasta	%	87
Fábricas de papel y cartón	-	132
Fábricas de pasta	-	15
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	17.750

Fuente: Annual Review- Europe. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

En la última década, la industria papelera española ha entrado en una dinámica de grandes proyectos industriales y de importantes inversiones en aumentos de capacidad, gracias a los cuales la producción de papel y cartón ha pasado de 3,4 millones de toneladas en 1990 a 5,4 millones de toneladas en el 2003, lo que representa un incremento del 58%.

En los últimos cinco años el crecimiento acumulado en España multiplica por dos el crecimiento medio de la producción papelera europea. En el año 2001 se produjo un incremento generalizado para todos los tipos de papel del 7,4%. Desde entonces el crecimiento se ha ralentizado alcanzando en el 2003 un crecimiento de tan sólo el 1,4% con respecto al 2002.

También el consumo de papel ha experimentado un importante incremento situándose en el 2003 en 7,2 millones de toneladas, lo que equivale a un incremento del 3,8% con respecto al 2002 y del 60% en los últimos diez años. De este modo el consumo per cápita ha pasado de 110 kg en 1990 a 176 kg en el 2003. El consumo per cápita sigue siendo inferior al de Estados Unidos (347 kg), al de la Unión Europea (196 kg), o al de nuestros vecinos Francia (180 kg) e Italia (179 kg), lo que también muestra un importante potencial de crecimiento. Estos datos justifican que existan proyectos de nuevas plantas para los próximos años, lo que permitirá cubrir las necesidades crecientes del mercado nacional.

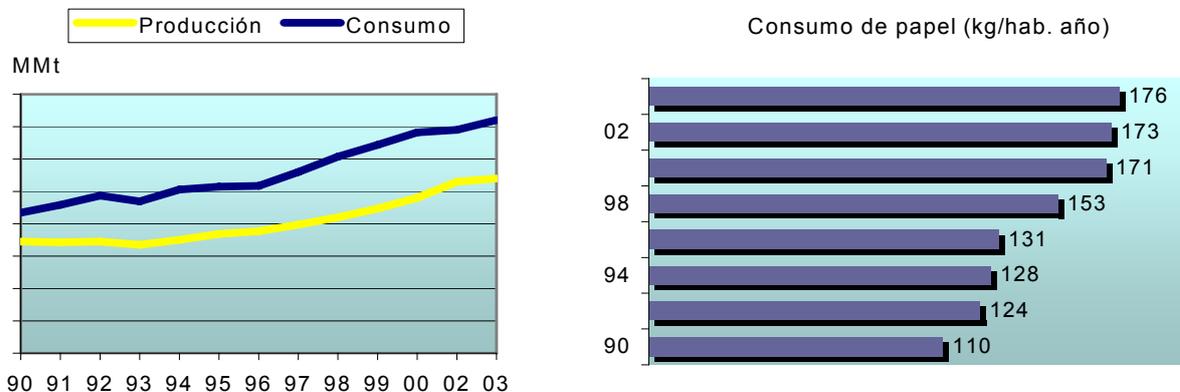


Gráfico 3.2.1.- Datos de producción y consumo de papel en España.

España es hoy uno de los grandes productores de la UE, con 132 fábricas de papel y cartón, entre las que se encuentran algunas de las plantas industriales más modernas de Europa.

El sector cuenta con 15 fábricas de pasta de celulosa con una producción de 1,9 millones de toneladas en el 2003 lo que supuso un incremento del 10,2% con respecto al 2002. El consumo de pastas papeleras fue de 1,7 millones de toneladas, con un incremento del 1,4% con respecto al 2002.

Estos datos sitúan a España como el tercer productor de papel y cartón de los PAM, por detrás de Francia e Italia, el séptimo productor de papel y cartón de la Unión Europea, con un 6% de la producción total, y el quinto productor de pastas de celulosa con un 5% de la producción total europea.

Las plantas de pasta y papel se encuentran distribuidas por toda la geografía aunque País Vasco, Cataluña y Aragón son las Comunidades de mayor producción de productos papeleros.

Las exportaciones de papel y cartón evolucionan en línea con la producción y aumentan en el 2003 un 1,2%, alcanzando un total de 1,8 millones de toneladas, de las que el 49% corresponden a papeles gráficos (prensa, impresión y escritura). Asimismo cabe destacar la exportación de casi 400.000 toneladas de papeles para cartón ondulado, que aumentó un 3,2% respecto al año anterior, así como el cartoncillo cuya exportación aumentó el 16,1% (111.200 toneladas).

En cuanto a la importación ésta aumentó un 6,4% con respecto al 2002, alcanzando un valor de 3,6 millones de toneladas, de las cuales casi 2 millones corresponden a papeles gráficos y 0,9 millones a papeles para cartón ondulado.

La importación de pastas fue de 0,8 millones de toneladas, fundamentalmente de pastas de fibra larga mientras que se exportaron casi 1 millón de toneladas de pasta de fibra corta, con un incremento del 17,6%, en línea también con el importante incremento de la producción de pasta.

España destaca en la actualidad por su elevada tasa de utilización de papel recuperado, la mayor de Europa, que es del 81,7% (% de papel recuperado utilizado como materia prima sobre el total de las materias primas celulósicas). La cantidad de papel recuperado que se utiliza como materia prima asciende a 4,4 millones de toneladas, de las cuales se importan 900.000 toneladas de papel recuperado de otros países.

El sector ha conseguido una importante reducción en el consumo energía. En 1991 eran necesarios como media 9,9 GJ/t para producir una tonelada (consumo unitario térmico + eléctrico neto), cifra que hoy se ha reducido hasta 8,6 GJ/t.

La industria de la celulosa y el papel cuenta una potencia total instalada de cogeneración de energía de 719 MW, que se ha casi triplicado en los diez últimos años.

El 85% del combustible utilizado por la industria papelera en España es gas natural (41%) o energía renovable como la biomasa residual del proceso de fabricación (44%). La biomasa residual del proceso productivo (cortezas, lignina...) empleada anualmente como combustible representa 832.000 toneladas equivalentes de petróleo.

3.2.2. FRANCIA

Introducción

Francia es un país europeo industrializado cuya parte meridional linda con el mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 550.000 km² y una población aproximada de 59,4 millones de habitantes.

Tabla 3.2.4. Indicadores socioeconómicos de la situación de Francia

Superficie	10 ³ km ²	551
Población	millones	59,4
Crecimiento de la población	%	0,4
Esperanza de vida	años	79
Analfabetismo total	% edad>15	ND
Analfabetismo femenino	% edad>15	ND
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	4.366
PIB actual	10 ⁹ €*	1.208
Crecimiento del PIB	% anual	1
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	1.319
PPA de PIB per cápita	10 ³ €	24,5
Formación bruta de capital	% del PIB	20
VA en agricultura	% del PIB	3
VA en industria	% del PIB	26
VA en servicios	% del PIB	72
Exportaciones	% del PIB	28
Importaciones	% del PIB	26
Teléfonos	por 1.000 h.	1.178
Ordenadores personales	por 1.000 h.	337

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

Francia es la cuarta mayor economía industrializada occidental. Posee importantes recursos agrícolas, una base industrial amplia y consolidada y mano de obra altamente cualificada. Cuenta, además, con un sector de servicios dinámico cuya actividad económica aumenta cada vez más y es responsable de prácticamente la totalidad de los puestos de trabajo creados en los últimos años.

Francia ha desarrollado con un éxito notable los sectores de telecomunicaciones, aeroespacial y armamentístico. En cuanto a la producción de energía, el país se ha concentrado sobre todo en el desarrollo de la energía nuclear, que hoy en día representa aproximadamente el 80% de la producción eléctrica del país. Los residuos nucleares se almacenan en instalaciones de reproceso en territorio francés.

Industria y medio ambiente

Francia es el cuarto país productor industrial del mundo. La industria manufacturera está altamente diversificada y constituye la fuente principal de ingresos derivados de exportaciones.

Los principales sectores industriales son:

- *Industria de la alimentación:* actualmente, el sector de la industria de la alimentación es el que genera un mayor número de puestos de trabajo en el país. Francia es el principal productor de remolacha azucarera del mundo y el segundo en producción de vino y queso. Entre otros productos alimenticios de importancia se cuentan la carne, el pan y los dulces.
- *Fabricación de automóviles, aviones, barcos y trenes:* Francia es el cuarto productor mundial de automóviles y, además, cuenta con una importante industria de fabricación de barcos, aviones y trenes.
- *Industria eléctrica y electrónica:* en Francia se produce equipamiento para telecomunicaciones, ordenadores, televisores, radios y otros artículos.
- *Industria metalúrgica:* la producción de hierro y acero, al igual que la industria del aluminio, constituye otra importante fuente de empleo en Francia.
- *Industria química y farmacéutica:* la industria química francesa produce una amplia gama de productos, que incluye desde sustancias químicas industriales, hasta plásticos, fertilizantes, solventes, cosméticos y productos farmacéuticos.
- *Industria textil:* produce artículos de algodón, seda y madera.

Industria de la pasta y el papel (*)

Tabla 3.2.5. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Francia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	146.800
Capacidad de producción de papel y cartón	t	11.700.000
Capacidad de producción de Pasta	t	3.019.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	182
Ratio de operación de papel y cartón	%	82
Ratio de operación de pasta	%	98
Fábricas de papel y cartón	-	129
Fábricas de pasta	-	18
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	23.785

Fuente: Annual Review- Europe. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

En los últimos diez años, el consumo de papel y cartón ha ido aumentando un 2% por año aproximadamente. El consumo per cápita anual de papel y cartón es aproximadamente de 182 kg/hab año, siendo el consumo total de papel y cartón para el año 2003 de unos 11 millones de toneladas aproximadamente (aproximadamente el 3,2% del consumo mundial). El consumo de papel y cartón en Francia puede ser dividido de la siguiente manera: un 48,9% papel de uso gráfico, 43,9% para embalaje y 6,7% para uso sanitario o doméstico. La pasta química representa el 82% de la pasta consumida en Francia.

La producción anual de papel y cartón en los últimos años ha sido de 9,9 millones de toneladas. Comparando esta cifra con la producción mundial de papel y cartón, 339 millones de toneladas en el año 2003, la industria de papel francesa representa el noveno lugar en cuanto a la producción mundial, y el cuarto lugar de Europa. La producción de pasta ha sido en estos últimos años de 2,5 millones de toneladas anuales, lo que representa el 62,9% del total del consumo de pasta en la industria del papel en Francia. El 66% de la pasta producida en Francia se convierte en papel o cartón fábricas integradas mientras que el 34% restante se vende a empresas de producción de papel y cartón no integradas. En cuanto a la importación, exportación, se puede decir que el 53,6% de la producción total de papel y cartón se exporta, mientras que el 57,5% de papel y cartón para consumo es importado.

En cuanto al consumo de materia prima para la industria de la pasta y el papel, cabe decir que en Francia se consumió a fecha de 2003, 8,5 millones de toneladas de madera y 5,8 millones de toneladas de papel recuperado y cartón. En Francia, la producción de papel y pasta a partir de papel recuperado está en aumento. La madera usada para la industria de la pasta y el papel está constituida en un 75% por madera limpia y en un 25% por serrería residual. El 59% procede de madera resinosa. El 94% de la madera utilizada es de origen francés.

() Los datos de este apartado han sido obtenidos a partir de COPACEL (Confédération française de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses).*

3.2.3. GRECIA

Introducción

Grecia es un país europeo industrializado ubicado al sur de Europa y que linda con el mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 131.940 km² y una población de 10,6 millones de habitantes.

Tabla 3.26. Indicadores socioeconómicos de la situación de Grecia

Superficie	miles de km ²	132,0
Población	millones	10,63
Crecimiento de la población	%	0
Esperanza de vida	años	78
Analfabetismo total	% edad>15	3
Analfabetismo femenino	% edad>15	4
Energía per cápita	kg eq. petróleo	2.635
PIB actual	10 ⁹ €*	114
Crecimiento del PIB	% anual	4
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	172,1
PPA de PIB per cápita	100 €	163
Formación bruta de capital	% del PIB	23
VA en agricultura	% del PIB	8,1
VA en industria	% del PIB	22,3
VA en servicios	% del PIB	69,3
Exportaciones	% del PIB	25
Importaciones	% del PIB	33
Teléfonos	por cada 1.000 h.	1.281
Ordenadores personales	por cada 1.000 h.	81

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

La economía griega ha experimentado durante años un sólido crecimiento, por encima de la media prevista para la UE. El sector servicios ha sido el que ha experimentado un crecimiento mayor y más rápido. El turismo es una de las principales fuentes de ingresos en divisas del país, si bien la industria ha tardado en expandirse y adolece de unas infraestructuras insuficientes. La industria alimentaria, en cambio, si ha proliferado en respuesta a los nuevos mercados de los países vecinos. La producción de equipos de alta tecnología, especialmente en el campo de las telecomunicaciones, es uno de los sectores más dinámicos. La agricultura todavía da trabajo a un 15% de la mano de obra.

Industria y medio ambiente

A continuación se detallan algunas de las actividades económicas de mayor impacto ambiental en Grecia:

Industria química

Se trata de un sector que ha sabido hacer frente a la necesidad de que las empresas que lo integran tengan un perfil ambiental destacado. En este sentido es notorio que la industria química griega haya logrado un nivel suficiente de adaptación a los desarrollos tecnológicos internacionales en materia de prevención y control de la contaminación, dando prioridad a la intervención en el origen.

Industria papelera / textil / de curtido

La mayoría de industrias papeleras griegas cumplen con las directrices de la Directiva IPPC (Directiva europea relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación), utilizan técnicas de producción progresivas y adoptan la mayoría de las mejores técnicas disponibles (MTD) rápidamente tras su aparición. En ocasiones, sin embargo, la incorrecta manipulación de los equipos le resta eficacia a la tecnología.

Sólo una de las industrias del curtido (la mayor tanto en tamaño como en producción) cumple con lo estipulado por la Directiva IPPC y ya ha implantado algunas MTD. En las demás empresas del sector, las MTD y cualquier otra medida destinada a reducir la contaminación son inexistentes.

La industria textil también es muy importante en Grecia. Genera un elevado número de puestos de trabajo y contribuye significativamente a los ingresos nacionales, ya que es un sector exportador que utiliza principalmente materia prima de producción local (el algodón). Existen unas 220 empresas de distinto tamaño en el sector textil, el 75% de las cuales son de tamaño familiar, con menos de 10 empleados. A pesar de todo, actualmente se tiende a crear empresas más grandes; los pequeños negocios están desapareciendo progresivamente.

Buena parte de los problemas de contaminación del agua los provocan las industrias de acabado de textiles. Las empresas grandes que siguen invirtiendo en MTD muestran una mejora continua, mientras que las que siguen ancladas en las viejas prácticas sufren un constante declive. La principal necesidad por lo que respecta al control de la contaminación es el tratamiento de efluentes líquidos y la eliminación de los lodos rojos. Las áreas donde se concentran las industrias de acabado de textiles son las de Atenas, Viotia y Tesalónica.

Industrias del cemento, vidrio y cerámica

En las industrias productoras de cemento el grado de implantación de tecnologías incluidas entre las MTD es muy alto; por el contrario, el nivel actual de protección ambiental de las industrias productoras de cal dista mucho de ser satisfactorio. Los estrictos niveles de emisiones propuestos por el documento BREF son un problema. Las empresas griegas dedicadas a la producción de amianto y derivados aparentemente han implantado la mayor parte de MTD, sobre todo por una cuestión de salud e higiene de los trabajadores. Las industrias del vidrio, sin embargo, sólo han adoptado algunas medidas básicas contra la contaminación.

Industrias de transformación de metales

Las pequeñas y medianas empresas del sector tienen problemas económicos para implantar los nuevos desarrollos tecnológicos, a diferencia de las grandes industrias, que han logrado un grado aceptable de adaptación a los desarrollos tecnológicos internacionales en materia de prevención y control de la contaminación, dando prioridad a la actuación en el origen.

Sector de la energía

Este sector está formado por grandes plantas de combustión de lignito y petróleo. Las instalaciones disponen de grandes unidades de combustión, de tratamiento de crudo y gas natural y de producción de electricidad a partir del lignito o petróleo, además de las cuatro refinerías existentes.

Industria alimentaria

La industria alimentaria es uno de los sectores más consolidados del país (con cerca de 1/3 del total de unidades industriales), estando dominada por un gran número de empresas dedicadas a la cría de aves de corral y ganado porcino, procesamiento de productos agrícolas, producción de aceite, tratamiento y envasado de productos de consumo, lácteos, bebidas, etc. Los problemas de contaminación los originan principalmente las pequeñas instalaciones o las empresas estacionales.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.2.7. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Grecia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	24.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	94,75
Fábricas de papel y cartón	-	22
Fábricas de pasta	-	1
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	5.345

Fuente: Annual Review- Europe. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

La industria papelera griega es importante para la economía del país y significativa dentro de los países de la región de mediterránea.

El consumo medio de papel y cartón de los últimos años (1992-2002) ha sido de 1.008.441 t/a, lo que supone un consumo per cápita de 94,75 kg/hab año. Grecia ocupa el séptimo lugar de consumo de papel y cartón en toneladas y el quinto puesto de consumo per cápita de los países del PAM.

La producción de papel y cartón de los último años (1992-2002) alcanzó su valor máximo en el período 1993-1996 (750.000 t/a) y los años siguientes descendió, en el 2002 se produjeron 495.000 t. La producción de papel recuperado también ha disminuido recientemente, pasando de producir 175.000 t en el 1999 a producir tan solo 51.940 en el año 2002.

Los últimos datos obtenidos de la ACPWP (The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products) en cuanto a producción, importación y exportación segregados por productos son los siguientes:

- Las pastas de mayor producción en Grecia son la pasta al sulfato sin blanquear, la pasta mecánica y la pasta de otras fibras.
- Los productos de papel y cartón de mayor producción en los últimos años (2000-2003) han sido el papel doméstico-sanitario (77.000 t/a), el papel y cartón para envoltorio (94.000 t/a), el papel recuperado (52.000 t/a) y los materiales para cajas (48.000 t/a).
- Grecia es un país importador de productos de papel y cartón manufacturados. Los productos importados en mayor cantidad son el papel de impresión (317.000 t/a), el papel estucado (197.000 t/a) y el papel y cartón para envoltorio (195.000 t/a). Las exportaciones de este sector son reducidas, los productos de composición fibrosa total son los de mayor exportación (111.000 t/a).

3.2.4. ITALIA

Introducción

Italia es un país europeo industrializado ubicado en la región mediterránea y que está rodeado por el mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 301.300 km² y una población aproximada de 58 millones de habitantes.

Tabla 3.2.8. Indicadores socioeconómicos de la situación de Italia

Superficie	10 ³ km ²	301,3
Población (julio 2003)	millones	57,9
Crecimiento población (julio 2003)	%	0,11
Esperanza de vida	años	79,4
Analfabetismo total	% edad>15	1,4
Analfabetismo femenino	% edad>15	1,8
Energía per cápita	kg eq. petróleo	2.974
PIB actual	10 ⁹ €*	1,23
Crecimiento del PIB (est. 2002)	% anual	0,4
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	1,2
PPA de PIB per cápita	10 ³ €	21,4
Formación bruta de capital	% del PIB	19,8
VA en agricultura	% del PIB	2,8
VA en industria	% del PIB	28,9
VA en servicios	% del PIB	68,2
Exportaciones	% del PIB	28,3
Importaciones	% del PIB	26,7
Teléfonos	por cada 1.000 h.	1.311
Ordenadores	por cada 1.000 h.	195

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

Italia ha pasado de ser una economía fundamentalmente agrícola a ocupar el quinto lugar en el ranking mundial. Es un país de recursos escasos. Gran parte de su superficie no es apta para el cultivo, por lo que se ha convertido en un importador neto de alimentos.

La mayor parte de las materias primas necesarias para la fabricación y más del 80% de las fuentes de energía del país son importadas. La fortaleza económica de Italia se basa en el procesamiento y fabricación de bienes, principalmente en medianas y pequeñas empresas familiares.

Industria y medio ambiente

Entre las cuestiones ambientales prioritarias destacan la contaminación atmosférica en las ciudades, la gestión del suelo y el agua, la gestión de los residuos, la conservación del entorno y el paisaje, el cambio climático, la gestión del transporte y la protección de zonas costeras y del entorno marino.

Los principales sectores industriales generadores de residuos tóxicos y peligrosos son: la industria química orgánica e inorgánica, el tratamiento de superficies, la industria electrónica, la minería y el transporte, el reciclaje, la industria textil, la industria de pasta y papel, la producción de energía, la industria agroalimentaria y la industria del curtido.

La industria emplea medidas reductoras del impacto en determinados procesos y sectores.

En la década de los 90, en el sector industrial italiano se produjeron significativos avances hacia la mejora de la calidad del aire. Las emisiones de SO_x, NO_x, CO, COV (procedentes de disolventes), dioxinas y furanos descendieron; de hecho fue el único sector que redujo las emisiones de CO₂. Italia

ha hecho grandes progresos para el establecimiento de las infraestructuras que permiten gestionar la contaminación atmosférica industrial.

Industria de la pasta y el papel (*)

Tabla 3.2.9. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Italia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	68.475
Capacidad de producción de papel y cartón	t	10.200.000
Capacidad de producción de pasta	t	750.000
Consumo de papel y cartón per cápita	kg	200
Ratio de operación de papel y cartón	%	88
Ratio de operación de pasta	%	80
Fábricas de papel y cartón	-	201
Fábricas de pasta	-	12
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	24.800

Fuente: Annual Review - Europe. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

El consumo per cápita de papel y cartón en los últimos años ha sido de unos 200 kg/hab año, siendo el consumo total de papel y cartón de unas 11 millones de toneladas anuales. La producción de papel y cartón en el año 2003 ha sido de 9,3 millones de toneladas, de las cuales la mayor parte corresponde a papel gráfico (2.744.783 t/a), papel y cartón para embalajes (2.495.572 t/a), y papel de uso sanitario (543.441 t/a). La producción de pasta de madera para papel de unos 3,6 millones de toneladas en el mismo año.

En los últimos siete años la utilización de papel recuperado como materia prima ha ido en aumento, pasando de 3,7 millones de toneladas en el año 1998 a 5,1 millones de toneladas en el año 2003.

El consumo total de agua en Italia ha disminuido de 313.000.000 m³ en el año 2001 a 312.000.000 m³ en el año 2002, habiendo disminuido también el consumo de agua por unidad de producto de pasta y papel de 35 m³/t en el año 2001 a 34 m³/t en el año 2002. Así mismo también la energía eléctrica consumida en este sector ha disminuido de 7.600 GWh en el año 2001 a 7.200 GWh en el 2002, y cabe mencionar que ha habido un aumento de la utilización de gas natural como combustible, de 81.500 tJ en el año 2001 ha 81.900 tJ en el año 2002; lo que pone de manifiesto el interés en mejorar el medio ambiente mediante una prevención de la contaminación.

(*) Los datos obtenidos provienen de ASSOCARTA (L'associazione del l'industria cartaria rappresentante le imprese produttrici di carta, cartoni e paste per carta in Italia)

3.2.5. MÓNACO

Introducción

Mónaco es un país europeo situado a orillas del mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 1,95 km² y una población de 32.149 habitantes.

Tabla 3.2.10. Indicadores socioeconómicos de la situación de Mónaco

Superficie	km ²	1,95
Población (est. 2003)	miles	32,15
Crecimiento de la población (est. 2003)	%	0,44
Esperanza de vida	años	79,27
Índice de desempleo (1998)	%	3,1
Energía per cápita	kg eq. petróleo	ND
PIB actual (est.1999)	10 ⁹ €*	745
Crecimiento del PIB	% anual	ND
PPA de PIB estimada	10 ⁶ €	770
PPA de PIB per cápita (est.1999)	10 ³ €	23,6
Teléfonos (1995)	Por hab.	±1

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

Mónaco es un pequeño país con una economía basada principalmente el sector financiero, comercial y turístico. El turismo representa casi el 25% de los ingresos anuales; el Principado de Mónaco ha sido un gran centro de turismo desde la inauguración de su famoso casino en 1856. Mónaco también destaca por sus actividades en el campo de las ciencias del mar.

Industria y medio ambiente

El sector industrial de Mónaco ha alcanzado un considerable desarrollo en menos de un siglo. Desde 1906, cuando el Estado financió la construcción del primer polígono en Fontvieille, se han instalado en él algunas industrias como la fábrica de cerveza de Mónaco o empresas del sector de la molturación de harina y la producción de chocolate. En los últimos veinte años, se han construido casi 200.000 m² de superficie industrial. El territorio disponible en el Principado es tan escaso que las instalaciones industriales se han ubicado en edificios de hasta trece pisos.

En la actualidad Mónaco tiene una industria diversificada. Cuenta con un gran número de empresas consolidadas en varios sectores: unas 23 pertenecen a la industria química, farmacéutica, parafarmacéutica y cosmética; 13 al procesado de materias plásticas; 21 a las artes gráficas, edición y cartonaje; 22 a la industria eléctrica y electrónica y a la ingeniería mecánica y de precisión; 8 al sector textil y de confección y otras, como las constructoras, suman un total de unas 200 empresas.

El sector de productos químicos, farmacéuticos y cosméticos parece el de mayor peso, pero las empresas dedicadas al procesado de materias plásticas y a la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos también tienen gran importancia. Otros sectores, como los que tienen que ver con la ingeniería mecánica, el envasado, las artes gráficas y la confección también son destacables, aunque no tanto. El principal problema ambiental asociado a estos sectores es la contaminación del agua.

Industria de la pasta y el papel

La industria de pasta y papel no es relevante en Mónaco.

3.3. PAÍSES DEL ESTE DEL MEDITERRÁNEO

Este grupo incluye a países con una tendencia común a implantar una legislación ambiental similar a la de la Unión Europea. Algunos de ellos, como Chipre, Malta y Eslovenia, desde su integración en la UE en este año se encuentran en proceso de adaptar su normativa a la de la UE. Turquía, como país candidato a la UE a corto o medio plazo, también se encuentra en un proceso de adaptación. Otros países como Bosnia-Herzegovina, Croacia y Albania también han iniciado un proceso de adopción de normativas ambientales similares a las aplicadas en la UE. Los países candidatos a entrar en la UE han iniciado un proceso de adaptación, con programas distintos en función de la fecha de integración, que incluye la adecuación de la industria interna y de las condiciones ambientales. Israel también ha sido incluido en este grupo porque, pese a no formar parte de la UE, posee muchas conexiones con ésta, en parte debidas a las similitudes en las características de sus industrias y en los compromisos asumidos para proteger el mar Mediterráneo.

Industria y medio ambiente

Los países agrupados en esta subregión difieren en cuanto a su pasado reciente. Algunos países del este del Mediterráneo, en concreto Albania, Bosnia-Herzegovina, Croacia y Eslovenia, atraviesan actualmente fases de transformación económica como resultado de las reformas emprendidas tras la caída del comunismo y de la liberalización gradual del mercado. La planificación central ha desaparecido casi por completo de su política y todos ellos se han embarcado en programas independientes de liberalización, de estabilización macroeconómica, de reformas legales e institucionales y de privatización. Desde 1990 se han dedicado a convertir sus economías al capitalismo y a abrir vías para la inversión extranjera. La industria constituye un componente importante de la economía en gran parte de estos países, al tiempo que el sector de los servicios gana cada vez más peso en algunos de ellos.

Marco político y legal

Los países de esta subregión han realizado un notorio progreso con respecto a la aprobación de nueva legislación ambiental. Sin embargo, hasta la fecha, este proceso no ha estado acompañado de una implantación efectiva, ni de las leyes y normativas antiguas, ni de las recién aprobadas. Los logros en hacer respetar esta normativa e impulsar a la industria a adoptar prácticas respetuosas con el medio ambiente pueden catalogarse en muchos casos de mediocres, cuando no pobres.

Para gran parte de los países del este del Mediterráneo, la legislación de la Unión Europea constituye una referencia obligada. La UE ha tenido una gran influencia en muchos de estos países, no sólo en términos de desarrollo económico, sino también en la gestión del medio ambiente, motivando un movimiento precoz hacia la armonización con las regulaciones europeas como medio de acelerar la adhesión a la UE.

En la mayoría de estos países, el otorgamiento de permisos para las actividades de producción es una función compartida entre distintos organismos y agencias gubernamentales, lo cual, con frecuencia, suele dar lugar a una gran falta de coordinación. En este sentido, algunos de ellos están solucionando esta cuestión aplicando el sistema IPPC por el que se establece un enfoque integrado en la concesión de permisos. De entre ellos, Eslovenia, Chipre y Malta se hallan en una fase más avanzada.

En el marco internacional para la protección del medio ambiente mediante la prevención de la contaminación, todos los países del este del Mediterráneo han suscrito, firmado o ratificado el Convenio de Basilea sobre Residuos Peligrosos y el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. En cuanto a la reducción de la capa de ozono, también todos han ratificado el Protocolo de Montreal y, con la excepción de Albania, sus primeras enmiendas. En lo relativo al cambio climático, la mayoría de los países ha firmado o ratificado el Protocolo de Kyoto.

Dentro del marco del Plan de Acción para el Mediterráneo, y con respecto a los protocolos centrados en actividades situadas en tierra, todos los países han ratificado el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación Causada por Fuentes y Actividades Situadas en Tierra,

aunque sólo algunos han aceptado las enmiendas de 1995. En cuanto al Protocolo de Residuos Peligrosos, sólo Albania y Malta lo han ratificado y Turquía lo ha firmado.

3.3.1. ALBANIA

Introducción

Albania es un país del este de Europa ubicado en la región mediterránea. Tiene una superficie total de 28.750 km² y una población aproximada de 3,5 millones de habitantes.

Tabla 3.3.1. Indicadores socioeconómicos de la situación de Albania

Superficie	10 ³ km ²	28,8
Población	millones	3,2
Esperanza de vida	años	74,0
Analfabetismo total	% edad>15	14,1
Analfabetismo femenino	% edad>15	21,3
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	522
PIB actual	10 ⁹ €*	4,0
Crecimiento del PIB	% anual	5,0
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	12
PPA de PIB per cápita	€	3.854
Formación bruta de capital	% del PIB	19
VA en agricultura	% del PIB	32,4
VA en industria	% del PIB	22,7
VA en servicios	% del PIB	44,9
Exportaciones	% del PIB	19,7
Importaciones	% del PIB	43,8
Líneas telefónicas operativas	por 1.000 hab.	138
Ordenadores personales	por 1.000 hab.	7,6

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

La conversión de Albania de una economía centralizada a un sistema orientado al mercado se inició a principios de 1992, después de que el PIB cayera en más del 50% en relación con su valor máximo registrado en 1989. El Gobierno elegido democráticamente lanzó un ambicioso programa de reformas económicas y situó al país en el camino hacia la economía de mercado. Entre las reformas contempladas se contaban la privatización y la reforma del sector empresarial y financiero.

Industria y medio ambiente

Albania es un país con un nivel de renta entre bajo y medio, en comparación con el de otros países de la zona. La disponibilidad limitada de recursos restringe la inversión que se destina a proteger el medio ambiente. No obstante, dado que la contribución de la producción industrial al PIB ha disminuido desde 1990, el impacto de la actividad industrial en el medio ambiente se ha visto también considerablemente reducido como resultado de la eliminación de múltiples fuentes peligrosas de contaminación ambiental.

Aparte de la agricultura, que representa casi la mitad del total de la población activa, en el presente la actividad industrial se compone de las siguientes actividades: minería y enriquecimiento de cobre, minería del mineral de cromo, extracción y refinado del petróleo, materiales de construcción y producción eléctrica. Los principales residuos industriales se generan en estos sectores industriales.

La mayoría de las industrias de propiedad estatal se han cerrado, dejando como principal problema ambiental los residuos acumulados en las antiguas plantas industriales.

Industria de la pasta y el papel

La industria de pasta y papel albanesa no se incluye en las más representativas de los PAM. El consumo per cápita de papel y cartón de Albania se ha mantenido en estos últimos años en 6,3 kg/hab año, siendo el consumo total de papel y cartón de 20.000 toneladas anuales. La producción de papel y cartón de Albania en el período 2000-2002 se ha mantenido alrededor de las 2.800 t/a.

Según los últimos datos disponibles de producción de diferentes tipos de pasta y otros productos de papel (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)), en Albania del 1993 al 1998 se produjeron: 13.500 t/anuales de pasta de papel química, 13.500 t/anuales de pasta de papel al sulfato sin blanquear, 2.000 t/anuales de pasta de papel mecánica, 400 t/anuales de pasta de papel de otras fibras, 8.000 t/anuales de papel prensa, 4.500 t/anuales de papel de escritura e impresión, entre otros.

Durante los años 2000-2003, se produjeron 2.000 t/anuales de papel para cajas. En el año 1999 se produjeron 1.000 t de papel y cartón para embalaje, mientras que desde el año 2000 hasta el 2003 la producción aumentó a 2.800 t/anuales.

Las mayores importaciones de pasta de celulosa de Albania se concentran en la pasta semiquímica. Las exportaciones de papel recuperado han aumentado desde el año 1997, pasando de ser 48 t/a a 88t/a en el 2003. Otro producto que también se exporta es la pasta de celulosa mecánica.

3.3.2. BOSNIA-HERZEGOVINA

Introducción

Bosnia-Herzegovina es un país del este de Europa que linda con el mar Adriático. Tiene una superficie total de 51.233 km² y una población aproximada de 3,5 millones de habitantes.

Tabla 3.3.2. Indicadores socioeconómicos de la situación de Bosnia-Herzegovina

Superficie	10 ³ km ²	51,13
Población	millones	4,12
Crecimiento de la población	%	1
Esperanza de vida	años	74
Analfabetismo total	% edad>15	ND
Analfabetismo femenino	% edad>15	ND
Energía per cápita	kg eq. petróleo	1.096
PIB actual	10 ⁹ €*	4,5
Crecimiento del PIB	% anual	4
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	6
PPA de PIB per cápita	100 €	15,4
Formación bruta de capital	% del PIB	21
VA en agricultura	% del PIB	14
VA en industria	% del PIB	30
VA en servicios	% del PIB	56
Exportaciones	% del PIB	27
Importaciones	% del PIB	51
Teléfonos	por cada 1.000 hab.	168
Ordenadores	por cada 1.000 hab.	ND

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido)

La economía de Bosnia-Herzegovina (BiH) todavía soporta la carga de la planificación centralizada. La industria tiene exceso de personal, lo que refleja la rigidez de la economía planificada. Tres años de guerra destruyeron la economía y las infraestructuras. Sin embargo, el avance ha sido considerable desde la pacificación del país. La inflación se ha mantenido baja gracias al estricto régimen de caja de conversión adoptado. A pesar de todo, el crecimiento ha sido desigual. La preocupación más inmediata es revitalizar la economía. Para ello, la situación general debe encaminarse hacia el sector privado y la economía de mercado.

Una de las principales prioridades para proteger la zona mediterránea de BiH es la construcción de una infraestructura de saneamiento. Al carecer la región de una red de saneamiento completamente desarrollada, algunas poblaciones e industrias vierten las aguas residuales directamente a fosas sépticas mal estructuradas en las que a menudo se producen fugas que contaminan las aguas subterráneas.

Industria y medio ambiente

La contaminación de la cuenca fluvial adriática de Bosnia-Herzegovina, de una extensión total de 12.410 km², procede tanto de puntos de emisión como de fuentes difusas situadas principalmente en las áreas cársticas que, dada su vulnerabilidad, percolan rápidamente los contaminantes al subsuelo. No se tienen datos precisos sobre las emisiones industriales totales al no existir un registro exhaustivo de la contaminación; la legislación sólo prevé el control de las aguas residuales. El control de las emisiones a la atmósfera y los residuos sólidos no es obligatorio para las empresas, por ello no existen datos cuantitativos ni cualitativos al respecto.

La industria a gran escala se estructura principalmente en empresas dedicadas a la industria: agroalimentaria, aluminio, tratamiento de superficies; madera, materiales de construcción, textil y eléctrica (hidroeléctrica y termoeléctrica). Debido a la situación creada por la guerra, la mayoría de industrias a gran escala que existían anteriormente funcionan a un rendimiento muy bajo que en muchos casos no llega al 10% de la capacidad normal habitual antes de la guerra. Además, los sistemas de tratamiento de que disponen están fuera de uso.

El principal problema es la inexistencia de plantas de tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales, ya que los efluentes se vierten directamente.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.3.3. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Bosnia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	24.750
Capacidad de producción de papel y cartón	t	339.000
Capacidad de producción de pasta	t	165.000
Fábricas de papel y cartón	-	14
Fábricas de pasta	-	2
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	1.250

Fuente: Annual Review- Europa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

La industria de la pasta y el papel de Bosnia-Herzegovina no se incluye en las más representativas de los PAM. El consumo de papel y cartón de este país per cápita se ha mantenido alrededor de 3 kg/hab año en los últimos años, siendo el consumo total de 10.800 t/a. No se conocen datos fiables sobre la producción total de este país, no obstante la producción actualmente se encuentra alrededor del 30% por encima del nivel en 1990.

Como se observa en la tabla anterior en Bosnia había un total de 16 fábricas de pasta y papel en el año 2002. En los últimos años se ha mantenido la importación de productos de papel en 4.361 t/a. La importación de la pasta de papel química presenta una evolución similar a la de los productos papeleros, manteniéndose desde 1999 su importación en 1.840 t/a. La importación de pasta semiquímica ha sido de 22 t/a en 2003.

En cuanto a las exportaciones, los últimos datos registrados muestran que en el 2003 se exportaron los siguientes productos: 1.140 t/a de productos papeleros correspondientes a: 44 t/a de pasta química y 1.100 t/a de papel recuperado.

3.3.3. CHIPRE

Introducción

Chipre es una isla europea ubicada al nordeste de la cuenca mediterránea. Tiene una superficie total de 9.250 km y una población aproximada de 800.000 habitantes.

Tabla 3.3.4. Indicadores socioeconómicos de la situación de Chipre

Superficie	km ²	9.250
Población	miles	765
Crecimiento población	%	0,6
Esperanza de vida	años	78,1
Analfabetismo total	% edad>15	2,6
Analfabetismo femenino	% edad>15	4,0
Energía per cápita	kg eq. petróleo	3.203
PIB actual	10 ⁹ €*	7,8
Crecimiento del PIB	% anual	2,0
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	8
PPA de PIB per cápita	100 €	128,5
Formación bruta de capital	% del PIB	ND
VA en agricultura	% del PIB	ND
VA en industria	% del PIB	ND
VA en servicios	% del PIB	ND
Exportaciones	% del PIB	ND
Importaciones	% del PIB	ND
Teléfonos	por cada 1.000 hab.	1.087
Ordenadores	por cada 1.000 hab.	247

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

Chipre cuenta con un mercado abierto libre y una economía basada en los servicios y, en parte, en la industria ligera. El pueblo chipriota es uno de los más prósperos del Mediterráneo. En los últimos veinte años la economía ha dejado la agricultura para pasar a la industria ligera y los servicios. El sector servicios, en el que se incluye el turismo, representa cerca del 70% del PIB y da empleo al 62% del total de trabajadores.

El sector comercial es vital para el país, ya que la isla no es autosuficiente desde el punto de vista de la alimentación y dispone de escasos recursos naturales. Chipre tiene que importar el combustible, la mayoría de materias primas, la maquinaria pesada y los equipos de transporte.

Industria y medio ambiente

Las bases de la economía chipriota son el turismo y el sector servicios, incluidas las telecomunicaciones, la industria naviera y la banca.

Con el tiempo, la densa población de las zonas costeras, provocada por la actividad turística, los servicios y la considerable emigración procedente de zonas urbanas, ha acabado ejerciendo gran presión sobre el medio litoral, especialmente durante la temporada alta. Las actividades industriales contribuyen, además, a dicha presión, ya que las principales industrias (producción de energía, cemento, vino y refinerías de petróleo) se encuentran todas en la costa. Estas actividades están produciendo signos de contaminación local a pequeña escala. Con todo, la calidad del agua es buena en todo el país gracias a la existencia de leyes estrictas sobre vertido de aguas residuales y protección del medio ambiente y el hábitat natural.

Industria de la pasta y el papel

Durante los últimos años (1992-2002) el consumo de papel y cartón de Chipre se ha mantenido alrededor de las 52.000 t/a (67 kg/hab año).

No se conocen datos de la producción total de papel y cartón de los últimos años, aunque existen registros (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) que indican que durante el periodo de 1992 a 2002 se produjeron 10.000 t/a de papel recuperado.

La importación de productos fibrosos desde el año 1993 al 2003 ha sido:

- Las importaciones de productos papeleros han aumentado desde 1993, donde se registró una importación de 3.211 t, hasta el 2003 donde se alcanzaron las 4.169 t.
- La importación de pasta química presenta una evolución similar. En 1993 se importaron 3.121 t de pasta, esta cantidad ha aumentado hasta llegar a las 4.133 t registradas en 2003.

Las exportaciones se basan fundamentalmente en:

- 86 t de pasta química en el 2000 que se han suprimido prácticamente en 2003.
- En 1993 se exportaron 1.181 t de productos papeleros, este valor aumentó hasta 1997 (6.200 t) y volvió a aumentar en el 2000 hasta unas 11.200 t/a, exportación que se ha mantenido en 2003.

3.3.4. CROACIA

Introducción

Croacia es un país del este de Europa que linda con el mar Adriático. Tiene una superficie total de 56.538 km² y una población aproximada de 4,37 millones de habitantes.

Tabla 3.3.5. Indicadores socioeconómicos de la situación de Croacia

Superficie	10 ³ km ²	56,54
Población	millones	4,37
Crecimiento de la población	%	-0,2
Esperanza de vida	años	74
Analfabetismo total	% edad>15	1,5
Analfabetismo femenino	% edad>15	2,4
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	1.775
PIB actual	10 ⁹ €*	19,2
Crecimiento del PIB	% anual	5,2
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	31
PPA de PIB per cápita	100 €	71
Formación bruta de capital	% del PIB	24,7
VA en agricultura	% del PIB	9,7
VA en industria	% del PIB	34,2
VA en servicios	% del PIB	56,1
Exportaciones	% del PIB	48,5
Importaciones	% del PIB	54,7
Líneas telefónicas operativas	por 1.000 h.	742
Ordenadores personales	por 1.000 h.	86

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

Croacia experimentó un proceso de industrialización y diversificación acelerado tras la Segunda Guerra Mundial. La descentralización tuvo lugar en 1965 y permitió el crecimiento de ciertos sectores, como por ejemplo, el turismo. Los beneficios generados por la industria croata se emplearon para desarrollar las regiones más pobres de la antigua Yugoslavia. Esto, junto con los programas de austeridad y la hiperinflación de los años ochenta, generó un gran descontento, que acabó por alimentar el movimiento independentista.

La privatización bajo el nuevo Gobierno croata apenas había dado comienzo cuando estalló la guerra de la independencia croata (1991-1995) que causó estragos en la infraestructura económica del país. Tras un período de desempleo creciente, empezaron a aplicarse reformas, que incluían un programa impositivo de valor añadido, el cual gozó de gran éxito, la privatización planificada de las empresas controladas por el Estado y la revisión de los presupuestos para recortar el gasto y el déficit. La baja inflación y la estabilidad monetaria han constituido los principales logros económicos. Con todo, la reforma estructural ha quedado rezagada.

Industria y medio ambiente

Los sectores industriales que desempeñan un papel activo en la economía y en la contaminación ambiental del país son el energético, cementero, alimentario, refino de petróleo, metalúrgico, químico, pasta y papel, textil y la agricultura.

Pese a que la industria no ha adoptado acuerdos voluntarios, el sector de producción energética, y en concreto las refinerías de petróleo y las centrales de energía térmica, es el que más activamente se ha involucrado en promover la producción más limpia. La situación se invierte en el sector de las PYMES, ya que su grado de cumplimiento con la legislación ambiental es peor que en las grandes empresas y carecen de información y formación sobre las oportunidades de la PL.

Croacia ha concluido la fase de formación primaria en PL. El concepto de PL está siendo introducido en la industria. No obstante, el país posee múltiples puntos calientes (*hot spots*) lo que indica la necesidad de una mayor acción en los temas de PL.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.3.6. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Croacia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	24.500
Consumo de papel y cartón per cápita	Kg	111,17
Ratio de operación de papel y cartón	%	65
Ratio de operación de pasta	%	68
Fábricas de papel y cartón	-	3
Fábricas de pasta	-	2
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	1440

Fuente: Annual Review- Europa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

El sector de la pasta y el papel en Croacia es una industria significativa, siendo una de las más importantes dentro de la subregión del Este de los países del Plan de Acción para el Mediterráneo. El consumo per cápita de papel y cartón ha aumentado en los últimos años, siendo en el 2002 de 111,17 kg/hab año, y el consumo total de papel y cartón de 493.500 t.

La producción de papel y cartón ha aumentado también en los últimos años, llegando a las 467.000 t de papel y cartón producido en el 2002, de las cuales 64.000 t son de papel recuperado.

Los datos mas relevantes de los últimos años, 2000-2003 son (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)):

- La producción de pasta mecánica ha sido de unas 40.000 t/a y la de pasta semiquímica de unas 80.000 t/a
- Los productos de papel y cartón que se fabrican son diversos, entre ellos destacan por su volumen de producción:
 - Papel y cartón para embalaje (220.000 t/a)
 - Papel de impresión y escritura (220.000 t/a)
 - Materiales para cajas (210.000 t/a)
- Las mayores importaciones del sector se centran en la pasta química y la pasta al sulfato blanqueada, con 2.000 t/a de cada una, el papel recuperado (125.000 t/a), el papel de imprenta (84.000 t/a), el papel estucado (51.000 t/a), el papel y cartón para embalaje (44.000 t/a) y el papel prensa (37.000 t/a).
- Por otro lado, las principales exportaciones de los últimos años han sido la de pasta mecánica (40.000 t/a), el papel y cartón para embalaje (130.000 t/a) y el papel recuperado (15.000 t/a).

3.3.5. ESLOVENIA

Introducción

Eslovenia es un país del este de Europa, a orillas del mar Adriático. Tiene una superficie total de 20.256 km² y una población aproximada de 2 millones de habitantes.

Tabla 3.3.7. Indicadores socioeconómicos de la situación de Eslovenia

Superficie	10 ³ km ²	20,3
Población	millones	2,0
Esperanza de vida	años	75,9
Analfabetismo total	% edad>15	ND
Analfabetismo femenino	% edad>15	ND
Energía per cápita	kg eq. petróleo	3.288
PIB actual	10 ⁹ €	21,1
Crecimiento del PIB	% anual	2,9
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	26,5
PPA de PIB per cápita	10 ² €	137
Formación bruta de capital	% del PIB	25,5
VA en agricultura	% del PIB	3,1
VA en industria	% del PIB	37,5
VA en servicios	% del PIB	59,3
Exportaciones	% del PIB	60,1
Importaciones	% del PIB	60,5
Teléfonos	por cada 1.000 hab.	1.161
Ordenadores	por cada 1.000 hab.	276

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

Eslovenia ganó la independencia de la antigua Yugoslavia en 1990. Desde entonces el gobierno implementó un comprehensivo programa de reformas, incluyendo la liberalización de precios y la reestructuración de la industria y de la economía en general. El proceso de privatización se ha llevado a cabo de acuerdo con los planes. En 1995, 215 grandes empresas ya habían sido privatizadas y 478 fueron privatizadas posteriormente. En dicha época la mayoría de las PYMES ya habían sido privatizadas (56.000) lo que correspondía a más de 90.000 empleados.

En la actualidad es uno de los países más prósperos de la Europa en transición y ocupa una posición privilegiada para unirse a las principales economías industriales modernas. Las empresas eslovenas tradicionalmente se han orientado hacia una economía de mercado y están avaladas por una gestión económica relativamente buena. Con todo, la economía eslovena depende mucho del comercio exterior, unos dos tercios del cual se produce con otros países de la UE, un motivo en el que se basa principalmente para solicitar su adhesión a la UE. Todo ello hace que Eslovenia sea muy sensible a cualquier cambio que se produzca en las relaciones comerciales con sus principales socios.

Industria y medio ambiente

Eslovenia es una economía pequeña y sus empresas son principalmente PYMES. Cuenta con alrededor de 141.000 empresas. Aproximadamente el 1,3% del total corresponde a empresas de más de 1.000 trabajadores, mientras que el 89,7% son microempresas o pequeñas y medianas empresas (PYMES), con un número de 1 a 99 trabajadores. Es evidente que estas PYMES constituyen el grueso de la economía nacional, si bien es cierto que no disponen de los recursos necesarios para invertir en investigación y desarrollo y que se concentran principalmente en los núcleos urbanos. Las PYMES cuentan con asistencia técnica y directiva de instituciones como la Cámara de Comercio e Industria, el Centro de Desarrollo de Pequeñas Empresas y algunos parques tecnológicos de Maribor, Ljubljana.

De las 141.000 entidades empresariales eslovenas, el 80% son privadas. Los sectores industriales más desarrollados son el químico, el farmacéutico, el papeler, el textil, el de alimentación y bebidas, el de elaboración de muebles, el de pequeños electrodomésticos para la cocina, el de la automoción y el de transformación de metales.

Sin duda, la industria es uno de los principales contaminadores de Eslovenia. La mayor parte de la contaminación atmosférica procede de la transformación del metal, la producción de electricidad, la industria papelera, las industrias de artes gráficas y fabricación de muebles (polvo, SO₂, NO_x, COT), la industria química, (CO, SO₂, NH₃) y la maderera (COT). La contaminación del agua es uno de los principales problemas ambientales; los principales contaminantes son las materias no solubles (procedentes de las industrias papeleras, artes gráficas, producción de energía, alimentarias y de transformación de metales), los problemas de DQO (generada por la industria papelera, artes gráficas y alimentaria), los nitratos y nitritos (procedentes de la industria transformadora del metal), el nitrógeno amoniacal (procedente del curtido y la industria química) y los metales (procedentes de la industria de transformación del metal y la industria química). La producción de residuos sólidos está experimentando un ligero descenso.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.3.7. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Eslovenia. Año 2002

Superficie forestal	km ²	10.000
Capacidad de papel y cartón	t	600.000
Capacidad de pasta	t	230.000
Consumo de papel y cartón per cápita	Kg	150
Ratio de operación de papel y cartón	%	93
Ratio de operación de pasta	%	93
Fábricas de papel y cartón	-	9
Fábricas de pasta	-	3 (1 sulfito, 2 mecánica/DIP)
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	5.500

Fuente: Annual Review- Europa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

Eslovenia tiene el consumo de papel más alto de todos los países de la región del este de Europa. El consumo de papel por habitante y año en Eslovenia es considerablemente elevado alcanzando un valor superior a 150 kg/hab año en el 2003. El consumo total de papel y cartón es de 0,5 millones de toneladas. En cuanto a la producción de papel y cartón Eslovenia no es una gran productora, presentando una producción de 590.000 t en el año 2003. Dicha producción se divide en un 11% de papel prensa, un 23% de papel de impresión y escritura, un 12% de papeles sanitarios, un 23% de papeles estucados y de embalaje y un 31% de cartones.

La producción de pasta química y mecánica fue de 134.000 toneladas en el 2003, presentando una disminución del 10% respecto al año anterior, mientras que la producción de papel y cartón, aproximadamente 600.000 t en el año 2003, decreció un 3% respecto al año 2002.

Eslovenia desde su independencia tiene un déficit en producción de pastas puesto que la mayoría de las plantas de celulosa de la antigua Yugoslavia estaban en la región de Bosnia-Herzegovina, por lo que tiene que importar pasta.

En la actualidad Eslovenia cuenta con 3 fábricas de pasta, de las cuales una es de fabricación de pasta al sulfito y las otras dos de fabricación de pasta mecánica; también cuenta con 6 fábricas de papel y cartón. Varias fábricas han cerrado en los últimos debido a las dificultades encontradas en su modernización para cumplir con la normativa medioambiental, esto ha supuesto un descenso del 22% de la producción de papel y cartón respecto a la producción del año 2001. Además 22 grandes compañías y 40 PYMES participan en la conversión de dichos productos papeleros con una capacidad de 80.000 t de cartón corrugado, 72.000 t de cajas y 95.000 t de productos de embalaje y otros productos ya convertidos. En el sector papelerero trabajan 600 empleados en la actualidad.

Las mayores importaciones del sector fueron los productos papeleros alcanzando una cifra global de 637.000 t en el 2003. Las exportaciones más importantes se basaron en el papel de impresión, el papel y cartón para embalaje, el papel estucado y el cartón para cajas plegables. Las exportaciones se realizaron a: 14% a Croacia, 13% a Italia, 10% a Alemania, 6% a Bosnia-Herzegovina, 5% a Austria, 4% a Hungría y un 44% a otros países.

3.3.6. ISRAEL

Introducción

Israel posee una economía diversificada y tecnológicamente avanzada, con un sector público importante, aunque en retroceso, y un potente sector de tecnologías de última generación. Los principales sectores industriales son la electrónica de alta tecnología y el equipamiento biomédico, los productos de metal, los productos alimenticios elaborados, la industria química y el equipamiento para el transporte. Además, Israel cuenta con un importante sector de servicios y es líder mundial en desarrollo de *software*.

Tabla 3.3.8. Indicadores socioeconómicos de la situación de Israel

Superficie	10 ³ km ²	21,06
Población	millones	6,5
Crecimiento de la población	%	2,0
Esperanza de vida	años	78,7
Analfabetismo total	% edad>15	4,7
Analfabetismo femenino	% edad>15	6,6
Energía per cápita	equiv. kg de petróleo	3.123
PIB actual	10 ⁹ €*	104,5
Crecimiento del PIB	% anual	-1,1
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	102
PPA de PIB per cápita	10 ³ €	16,2
Formación bruta de capital	% del PIB	20,1
VA en agricultura	% del PIB	3
VA en industria	% del PIB	30
VA en servicios	% del PIB	67
Exportaciones	% del PIB	23
Importaciones	% del PIB	25,2
Líneas telefónicas operativas	por 1.000 hab.	1.285
Ordenadores personales	por 1.000 hab.	246

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

Israel presenta un conjunto coherente de reglamentos y políticas ambientales. La PL queda plasmada en la legislación de las sustancias tóxicas y peligrosas y está controlada mediante un sistema de permisos. La aplicación de actividades preventivas se apoya directamente o a través del Centro Israelí para la Producción más Limpia y de los organismos gubernamentales.

Industria y medio ambiente

En las dos últimas décadas, a nivel industrial se han hecho avances importantes en los siguientes campos: la electrónica médica, la agrotecnología, las telecomunicaciones, los productos de química fina, el *software* y *hardware* informático y la talla y pulido de diamantes.

Los sectores de la alta tecnología, en los que se invierte capital y formación y los cuales requieren técnicas de producción sofisticadas, así como una inversión considerable en investigación y desarrollo (I+D), son los que registran una mayor tasa de crecimiento. Más del 90% del presupuesto público anual de I+D se destina a las industrias de tecnología punta.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.3.9. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Israel. Año 2002

Superficie forestal	km ²	1.000
Capacidad de papel y cartón	t	320.000
Fábricas de papel y cartón	-	6
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	2.100

Fuente:PPI (Pulp and Paper International)

El consumo medio de papel y cartón entre los años 1992 y 2002 se situó en unas 900.000 t/a, siendo el consumo per cápita de papel y cartón del año 2002 en 140,74 kg/hab año. La producción de papel y cartón se ha mantenido constante en esta última década, siendo de 275.000 t/a.

De los últimos datos disponibles cabe destacar (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)):

- Los productos de mayor volumen de producción son el papel y cartón para embalaje (130.000 t/a). Otros productos de menor importancia son el papel de escritura e imprenta (95.000 t/a) y el papel sanitario-doméstico (50.000 t/a). 110.000 t/a son de papel recuperado.
- Las importaciones más importantes son las de productos de papel y cartón para embalaje y la pasta química. Por otro lado, el volumen de exportaciones es bastante menor al de importaciones.

3.3.7. MALTA

Introducción

Al poseer escasas materias primas propias y un mercado nacional muy limitado, Malta ha basado su desarrollo económico en el fomento del turismo y en las exportaciones de productos manufacturados. Desde mediados de los 80, la expansión que han experimentado estas actividades se ha convertido en el principal motor del fuerte crecimiento de la economía maltesa.

Tabla 3.3.10. Indicadores socioeconómicos de la situación de Malta

Superficie	km ²	320
Población	hab	397000
Crecimiento de la población	%	0,5
Esperanza de vida	años	78,4
Analfabetismo total	% edad>15	3,4
Analfabetismo femenino	% edad>15	6,6
Energía per cápita	kg eq. petróleo	2.089
PIB actual	10 ⁹ €*	3,1
Crecimiento del PIB	% anual	-0,7
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	5,13
PPA de PIB per cápita	100 €	128,5
Formación bruta de capital	% del PIB	20,4
VA en agricultura	% del PIB	2,8
VA en industria	% del PIB	25,5
VA en servicios	% del PIB	71,7
Exportaciones	% del PIB	87,8
Importaciones	% del PIB	92,3
Teléfonos	por cada 1.000 hab.	884
Ordenadores	por cada 1.000 hab.	230

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

Existe una sólida base para la fabricación de productos de gran valor añadido como los aparatos electrónicos y productos farmacéuticos, mientras que el sector manufacturero cuenta con más de 250 empresas de propiedad extranjera, orientadas hacia la exportación. El turismo genera el 35% del PIB.

Industria y medio ambiente

La contribución del sector manufacturero al PIB es del 26%, y su consumo total de energía generada ronda el 27%. Los principales tipos de industria que conforman el sector abarcan desde la fabricación de semiconductores y otras piezas de equipos sofisticadas a la elaboración de alimentos y bebidas o la reparación de barcos. Otras actividades importantes del país son el turismo y la construcción.

Se consideran PYMES cerca del 90% de las empresas, a las que presta asistencia técnica y ayuda a la gestión el Instituto para el Fomento de las Pequeñas Empresas (IPSE). La relación existente entre las PYMES respecto a la tecnología y las posibilidades de la PL es prácticamente nula y el apoyo que reciben de las grandes industrias para la puesta en marcha de la PL es muy escaso.

Industria de la pasta y el papel

El consumo de papel y cartón ha aumentado durante los últimos años, pasando de 39,98 kg/hab año en 1992 a 117,86 kg/hab año en el 2003, siendo el consumo total de papel y cartón de 46.320 t en estos últimos años.

No se dispone de datos de la producción total de papel y cartón de los últimos años, aunque existen registros (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)) que indican que durante el periodo de 1993 a 2003 se importaron dos productos:

- La importación de pasta de papel química han disminuido desde el año 1993, donde se registró una importación de 1.100 t, hasta el 2003, con la importación de 350 t.
- Las importaciones de pastas, ha evolucionado de la misma manera; en el año 1993 se importaron 1.300 t y en el 2003 unas 350 t.

3.3.8. TURQUÍA

Introducción

Turquía es un país ubicado entre los continentes europeo y asiático, a orillas del mar Mediterráneo. Tiene una superficie total de 780.580 km² y una población aproximada de 70 millones de habitantes.

Tabla 3.3.11. Indicadores socioeconómicos de la situación de Turquía

Superficie	km ²	775
Población	Millones hab	70
Crecimiento de la población	%	1,32
Esperanza de vida	años	69,9
Analfabetismo total	% edad>15	14,0
Analfabetismo femenino	% edad>15	22,1
Energía per cápita	kg eq. petróleo	1.181
PIB actual	10 ⁹ €*	157
Crecimiento del PIB	% anual	7,8
PPA de PIB estimada	10 ⁹ €	379
PPA de PIB per cápita	100 €	57
Formación bruta de capital	% del PIB	19,0
VA en agricultura	% del PIB	13,8
VA en industria	% del PIB	26,6
VA en servicios	% del PIB	59,6
Exportaciones	% del PIB	28,8
Importaciones	% del PIB	25,4
Teléfonos	por cada 1.000 hab.	587
Ordenadores	por cada 1.000 hab.	40,7

Fuente: Grupo del Banco Mundial y global EDGE (2001-2002) (PPA= paridad de poder adquisitivo; VA= Valor añadido, ND= no disponible)

La estrategia de crecimiento, basada en las exportaciones y el libre mercado, ha situado a la economía turca entre las que presentan un más rápido crecimiento dentro de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Sin embargo, el programa de reformas iniciado a principios de los años ochenta no ha sido totalmente completado, resultando en una elevada inflación, estimulada principalmente por el gran déficit del sector público.

El descenso del peso de la agricultura en la economía coincide con la rápida expansión de los sectores de servicios e industrial. El sector textil representa la principal industria manufacturera turca y es el que más exporta. Con la creación de un Ministerio del Medio Ambiente en 1991, las cuestiones ambientales han ido adquiriendo cada vez más un mayor protagonismo.

Industria y medio ambiente

Los principales sectores industriales turcos son el manufacturero (textil, industria química, metalúrgica, papelera y alimentaria), la minería, el energético y el de la construcción. Otros sectores destacados son los de infraestructuras turísticas, vehículos automóviles y electrónica. La contaminación industrial de Turquía se debe principalmente a las actividades de producción. El sector manufacturero es el que más contribuye a la contaminación industrial del país.

En Turquía, las pequeñas y medianas empresas representan el 98,8% del total de instalaciones de producción; la mayor parte del 1,2% restante corresponde a empresas de tamaño medio. La ubicación de las industrias se ha convertido recientemente en un tema relevante en Turquía. Como demuestran las inversiones del Gobierno, actualmente existe cierta tendencia a fomentar el desarrollo de las zonas industriales ya existentes y a establecer otras nuevas, más que a potenciar el crecimiento de las PYMES situadas en zonas aisladas. En la actualidad, el 14% de las PYMES se encuentran en zonas industriales organizadas y el 38% en pequeñas zonas industriales; el resto corresponde a empresas aisladas.

Industria de la pasta y el papel

Tabla 3.3.12. Datos de la Industria de la Pasta y el Papel en Turquía. Año 2002

Superficie forestal	km ²	779.452
Capacidad de papel y cartón	t	2.155.000
Capacidad de pasta	t	557.700
Consumo de papel y cartón per cápita	Kg	35,59
Ratio de operación de papel y cartón	%	70
Ratio de operación de pasta	%	55
Fábricas de papel y cartón	-	36
Fábricas de pasta	-	11 (5 sulfato, 3 semiquímica, 3 mecánica, 5 no maderera)
Nº empleados en la Industria de la pasta y el papel	-	9.380

Fuente: Annual Review- Europa. Julio 2002. PPI (Pulp and Paper Internacional)

Turquía es el cuarto productor y consumidor de pasta y papel de los PAM, por detrás de las industrias más importantes de Francia, Italia y España; en cambio el consumo per cápita de papel y cartón no es muy elevado, siendo éste valor en los últimos años de 35,39 kg/hab año, y el consumo total de 2,5 millones de toneladas.

La industria presenta actualmente un gran potencial de desarrollo. La capacidad existente de fábricas en Turquía es todavía muy baja comparada con los países de la Unión Europea, 36 fábricas de papel y cartón y 11 fábricas de pasta, de las cuales 5 son de fabricación de pasta al sulfato, 3 de pasta semiquímica, 3 de pasta mecánica y 5 de pasta no maderera.

En el sector privado, el papel recuperado cuenta con el 75,8% de la materia prima usada, siendo el 19% pasta. Sin embargo, la calidad del papel recogido es a menudo inadecuada para los sistemas existentes de las fábricas, por lo que el proceso destintado es de gran importancia.

La producción de papel recuperado aumentó desde el 1992 hasta el 2002 (1 millón t), la producción de papel y cartón también aumentó aunque no de manera tan pronunciada, en el 2002 se produjeron 1.643.000 t de papel y cartón.

A continuación se detallan los últimos datos disponibles de producción, importación y exportación segregados por productos (Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)):

- Las pastas que se han producido en mayor cantidad durante los últimos años (2000-2003) son la pasta química (183.000 t/a), la pasta al sulfato sin blanquear (148.000 t/a) y las pastas de plantas anuales (53.000 t/a).
- La producción de papel y cartón de Turquía abarca todo tipo de productos, entre los que destacan el papel y cartón para embalaje, con una producción de unas 1.200.000 t/a, el papel recuperado (1.000.000 t/a) y los materiales para cajas (850.000 t/a).
- Las principales importaciones de los años 2002 y 2003 fueron: de 600.000 t/a en general: 360.000 t/a de pasta química y 230.000 t/a de papel recuperado.
- El volumen de exportaciones de Turquía es mucho menor que las importaciones. Las exportaciones más importantes de los últimos años (2000-2003) consistieron en 4,6 millones de t/a de productos papeleros, de los cuales tan sólo 3000 t/a fueron de papel recuperado.

3.4. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA PASTA Y EL PAPEL EN LOS PAÍSES DEL PLAN DE ACCIÓN PARA EL MEDITERRANEO

La situación económica de los últimos años ha hecho que la reducción de costes sea un factor clave en nuestros días para cualquier sector industrial. Con este objetivo los fabricantes de pasta y papel han adoptado numerosas medidas para reducir el consumo de materias primas y de energía, aumentando la eficacia y rendimiento de muchos de sus procesos, lo cual ha contribuido, de forma indirecta, a la mejora medioambiental de las fábricas.

En este contexto, para mantener la competitividad, las empresas del sector a la vez que mejoran las tecnologías de producción, adoptando las mejores prácticas disponibles, que sean técnica y económicamente viables, tendrían que encontrar nuevos mercados para sus productos. El desarrollo de nuevos productos específicos que destaquen, por ejemplo, por su alta calidad o por su producción con tecnologías limpias permitiría a estas empresas hacer frente al mercado asiático, que debido a los bajos costes de producción se está introduciendo rápidamente en el resto de los mercados. Para alcanzar estos objetivos la investigación, el desarrollo y la innovación son aspectos fundamentales.

Como es bien sabido el consumo de papel está relacionado con la actividad económica de un país y con su estatus cultural, siendo un indicador del grado de desarrollo del mismo.

El consumo por habitante y año de papel en la región del Mediterráneo en el año 2002 varía entre 2,62 kg/hab año en Bosnia - Her. y 204,01 kg/hab año en Italia. En la tabla 3.4.1 se presentan los consumos en los distintos países de la región del Plan de Acción para el Mediterráneo y para distintos años.

Tabla 3.4.1. Consumo de Papel y Cartón en los países del PAM. Unidades: kg/hab año

PAÍS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albania	6,28	6,32	6,34	6,51	17,72	17,13	15,25	13,81	13,67	13,88	13,35
Argelia	7,08	7,42	7,38	8,08	7,75	6,32	6,04	7,65	8,12	8,47	8,44
Bosnia – Her.	2,62	2,66	2,72	2,81	2,93	2,89	0,09	0,09	0,08	0,20	0,06
Chipre	69,48	70,09	68,43	67,85	66,23	64,57	63,26	67,07	66,94	64,85	87,91
Croacia	111,17	103,89	100,09	110,03	107,98	106,37	87,68	79,07	48,74	34,95	19,95
Egipto	13,24	15,09	10,26	19,21	14,67	13,41	9,37	9,39	11,27	11,06	11,03
Eslovenia	141,43	201,96	85,66	106,43	154,89	-	175,70	169,55	137,95	120,22	162,80
España	169,60	156,45	165,92	198,18	135,05	141,51	134,24	129,81	127,93	118,22	123,37
Francia	182,62	183,44	192,15	185,52	182,64	168,45	156,39	165,50	168,83	155,06	157,59
Grecia	85,19	100,37	102,31	100,06	100,34	92,98	92,59	87,70	105,57	106,96	68,27
Israel	104,74	130,83	133,69	123,88	105,36	111,60	107,30	120,77	120,01	117,63	119,39
Italia	204,01	190,94	195,94	183,19	166,82	166,90	142,66	145,22	149,69	132,37	136,50
Líbano	45,02	45,77	39,59	51,56	55,98	45,27	35,52	31,52	41,52	44,19	29,64
Líbia	3,14	3,20	5,69	5,80	6,19	2,98	3,03	2,52	3,23	7,94	3,95
Malta	117,86	-	91,77	92,25	89,09	58,75	49,34	57,14	58,93	46,09	39,98
Marruecos	8,34	9,77	10,58	9,50	9,47	9,51	8,77	10,02	9,82	9,61	8,12
Mónaco	n.d.										
Siria	4,11	9,26	6,16	8,17	8,99	7,53	3,52	2,64	5,76	4,85	3,42
Túnez	19,18	23,43	20,90	18,87	19,15	20,27	17,01	18,44	18,93	15,93	18,35
Turquía	35,39	29,12	36,72	31,85	31,33	30,82	27,17	24,80	20,49	27,00	21,46

Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

En la tabla 3.4.2 se muestra el consumo total de papel y cartón en los países del Plan de Acción para el Mediterráneo.

Tabla 3.4.2. Consumo de Papel y Cartón en toneladas métricas

PAÍS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albania	19.725	19.725	19.725	20.256	55.318	53.749	48.177	43.991	43.991	45.138	43.844
Argelia	221.300	228.200	223.300	240.400	227.100	182.200	171.379	213.179	222.200	226.900	221.244
Bosnia Her.	10.800	10.800	10.800	10.800	10.800	10.184	298	298	298	747	236
Chipre	55.304	55.304	53.583	52.650	51.000	49.200	47.700	49.900	49.000	46.627	61.975
Croacia	493.500	461.800	445.000	488.300	477.500	469.100	387.300	352.100	220.500	161.626	94.349
Egipto	933.700	1.043.000	695.400	1.277.400	957.300	858.700	588.700	578.500	681.200	655.914	641.283
Eslovenia	280.881	401.498	170.462	212.000	309.000	-	350.700	337.400	273.000	236.232	317.131
España	6.949.700	6.395.000	6.761.544	8.047.300	5.461.600	5.697.600	5.382.000	5.183.800	5.091.100	4.690.100	4.879.872
Francia	10.929.892	10.926.498	11.393.878	10.955.000	10.743.142	9.872.000	9.130.000	9.622.000	9.772.000	8.932.000	9.032.781
Grecia	934.581	1.098.763	1.115.504	1.084.000	1.078.100	989.700	976.200	916.800	1.095.636	1.103.224	700.344
Israel	660.263	807.773	807.774	732.235	609.000	630.100	590.600	646.000	621.762	588.394	575.694
Italia	11.727.000	10.983.001	11.273.317	10.539.000	9.592.900	9.590.000	8.187.000	8.321.000	8.561.000	7.553.114	7.770.894
Líbano	161.900	161.900	137.700	176.300	188.100	149.300	114.700	99.300	127.000	130.800	84.810
Libia	17.100	17.100	29.800	29.800	31.196	14.696	14.696	11.996	15.046	36.296	17.728
Malta	46.320	4.867	35.700	35.700	34.300	22.500	18.800	21.600	22.100	17.100	14.672
Marruecos	250.886	289.170	308.000	272.000	266.800	263.700	239.400	269.000	259.300	249.497	207.149
Mónaco	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Siria	71.381	157.200	102.000	132.000	141.700	115.746	52.765	38.465	81.853	67.110	46.013
Túnez	186.550	225.450	198.900	177.600	178.200	186.300	154.330	165.061	166.839	138.152	156.359
Turquía	2.488.373	2.018.000	2.507.540	2.142.000	2.075.000	2.009.000	1.742.600	1.564.000	1.270.100	1.644.907	1.283.441

De los datos mostrados en la tabla 3.4.2 se obtiene el consumo global de papel y cartón en los países del PAM (ver gráfico 3.4.1). El consumo total de papel y cartón durante el año 2002 en la región del Mediterráneo fue de 36,5 millones de toneladas, lo que representó un incremento del 40% con respecto a 1992 y un incremento medio anual del 4% en los últimos 10 años. Se observa un incremento continuo desde 1996 hasta 1999 del 8% anual aproximadamente. Sin embargo a partir de 1999 se produce un estancamiento debido a la situación de inestabilidad mundial. Durante el periodo 2000-2003 sólo España ha presentado un importante incremento tanto en el consumo como en la producción de papel.

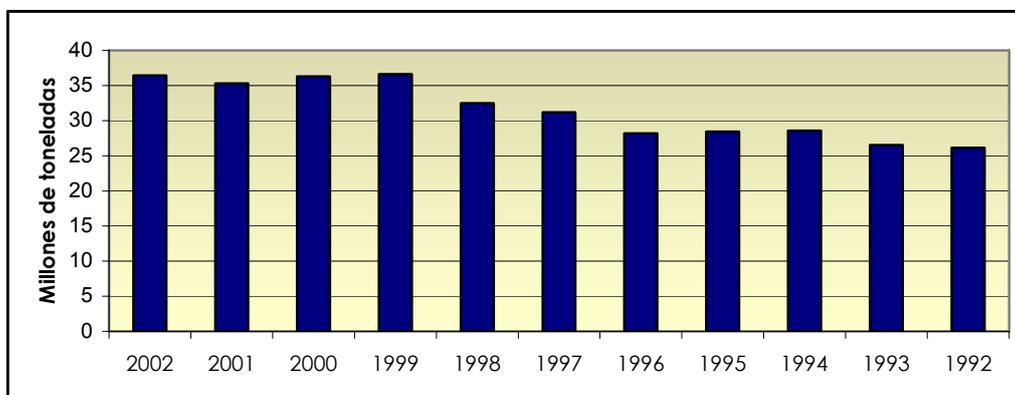


Gráfico 3.4.1. Consumo Global de papel y cartón en los países del PAM

Se observa una diferencia entre las distintas regiones del mediterráneo en cuanto al consumo de papel y cartón, ver gráfico 3.4.2.

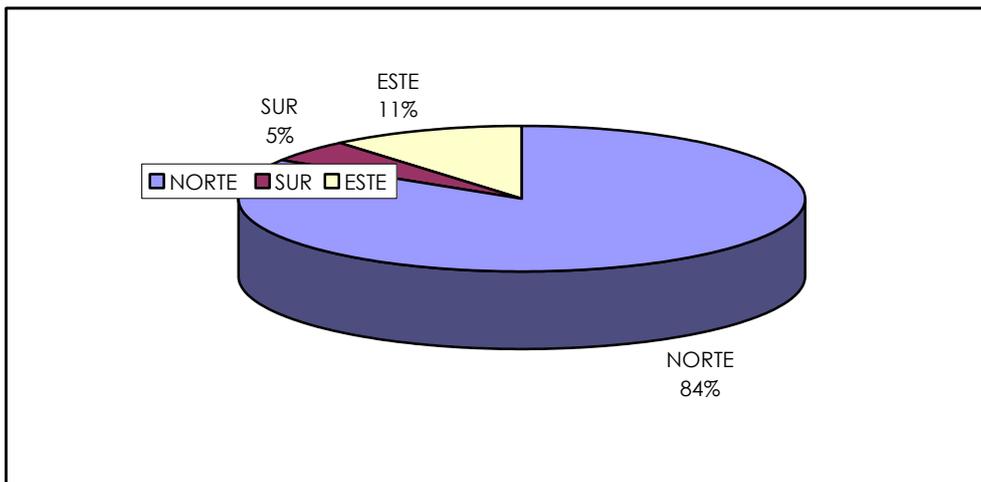


Gráfico 3.4.2. Consumo de papel y cartón en los países del PAM en el año 2002

Esta tendencia se ha mantenido constante a lo largo de los años como se puede observar en el gráfico 3.4.3.

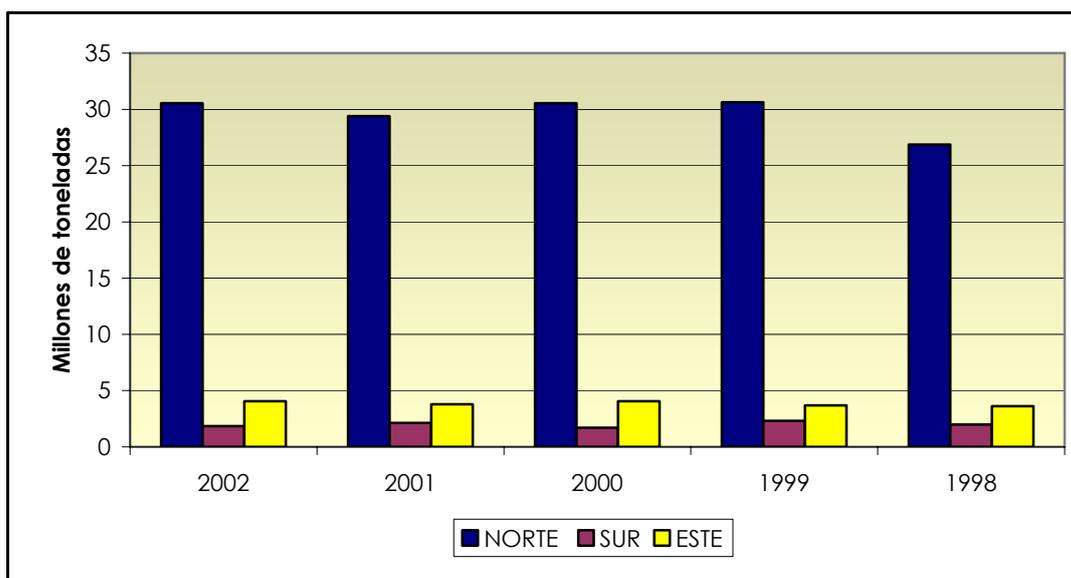


Gráfico 3.4.3. Consumo de papel y cartón en los países del PAM

En el gráfico 3.4.4 se muestra la relación del consumo de papel y cartón y el PIB per cápita (kg/hab año) en el año 2002, de los PAM.

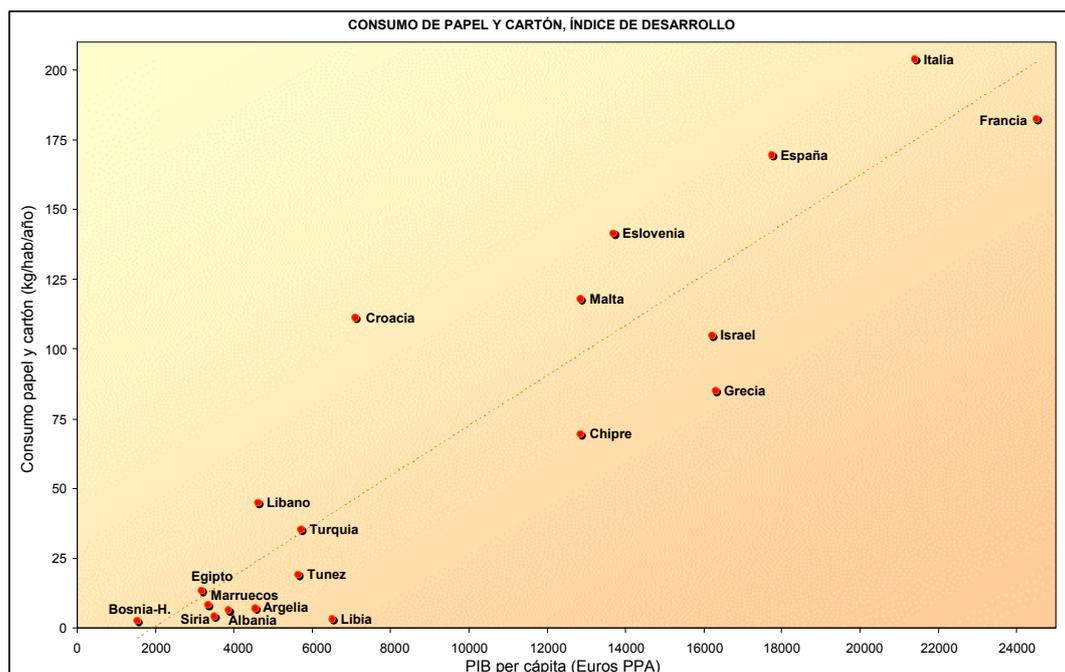


Gráfico 3.4.4.- Consumo de papel y cartón como índice de desarrollo de un país.

En cuanto a la producción, la producción de pasta en los países del PAM se ha mantenido en aproximadamente 7 millones de toneladas (correspondiendo un 40% de la producción de pasta a Francia y un 30% a España), un 3,78% de la producción mundial (ver tabla 3.4.3 y gráfico 3.4.13).

Tabla 3.4.3. Producción de pasta en los países del PAM en toneladas

PAÍS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996
Albania	0	0	0	0	29.400	29.400	29.400
Argelia	2.000	2.000	5.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Bosnia Her.	0	0	0	0	0	0	0
Croacia	122.000	115.000	127.000	95.000	95.000	105.000	129.000
Chipre	0	0	0	0	0	0	0
Egipto	120.000	120.000	75.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Eslovenia	274.000	274.000	274.000	273.000	254.000	238.000	178.000
España	2.125.000	2.032.000	2.014.000	2.006.000	1.990.000	1.975.000	1.958.000
Francia	2.915.000	3.520.000	3.520.000	3.520.000	3.520.000	3.425.000	3.327.000
Grecia	0	0	5.000	5.000	13.500	13.500	40.500
Israel	15.000	15.000	15.000	15.000	0	0	0
Italia	750.000	635.000	635.000	635.000	635.000	635.000	635.000
Líbano	0	0	0	0	0	0	0
Líbia	0	0	0	0	0	0	0
Malta	0	0	0	0	0	0	0
Marruecos	219.000	219.000	219.000	219.000	231.000	225.000	203.000
Mónaco							
Siria	0	0	0	0	0	0	0
Túnez	10.000	10.000	14.000	14.000	14.000	16.000	12.000
Turquía	461.000	458.000	582.000	530.000	601.000	580.000	609.000

Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

La fabricación de papel en la región del mediterráneo ha entrado, durante la última década, en una dinámica de grandes proyectos industriales y de importantes inversiones en aumentos de capacidad, gracias a los cuales la producción de papel y cartón ha pasado de 20 millones de toneladas en 1993, a 28 millones de toneladas en el 2003 (ver tabla 3.4.4 y gráfico 3.4.5) lo que representa un incremento del 40%. Aunque la producción mundial de papel ha disminuido desde el 2000, en la región del Mediterráneo se ha mantenido, en especial se debe tener en cuenta el gran desarrollo de la producción en España y más ligeramente en Italia.

Tabla 3.4.4. Producción de papel y cartón en los países del PAM en toneladas métricas

PAIS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albania	2.800	2.800	2.800	1.000	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500
Argelia	41.000	41.000	41.000	26.000	55.000	65.000	56.000	78.000	87.000	93.000	91.000
Croacia	467.000	451.000	406.000	417.000	403.000	393.000	304.200	324.800	247.800	114.000	100.000
Chipre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Egipto	460.000	460.000	440.000	343.000	343.000	282.000	221.000	221.000	219.000	220.000	201.000
Eslovenia	494.000	633.000	411.000	417.000	491.000	430.000	456.000	449.000	460.000	401.000	413.000
España	5.364.700	5.131.000	4.765.000	4.435.300	3.544.600	3.968.000	3.768.000	3.684.000	3.503.000	3.348.000	3.449.000
Francia	9.798.000	9.625.000	10.006.000	9.603.000	9.161.300	9.143.000	8.556.000	8.619.000	8.701.000	7.975.000	7.691.000
Grecia	495.000	495.000	496.000	545.000	622.000	478.000	750.000	750.000	750.000	750.000	387.000
Israel	275.000	275.000	275.000	275.000	242.000	275.000	275.000	275.000	229.000	213.000	215.000
Italia	9.273.000	8.926.000	9.129.317	8.568.000	8.253.900	8.032.000	6.954.000	6.810.000	6.705.000	6.019.000	6.040.000
Líbano	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000
Líbia	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Malta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marruecos	129.000	129.000	109.000	109.000	110.000	107.000	106.000	106.000	103.000	99.000	102.000
Mónaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Síria	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Túnez	94.000	94.000	94.000	94.000	88.000	97.000	90.000	90.000	92.000	80.000	71.000
Turquía	1.643.000	1.513.000	1.567.000	1.349.000	1.357.000	1.246.000	1.105.000	1.240.000	1.102.000	1.032.000	1.012.600

Tabla 3.4.5. Producción de Papel Recuperado. Unidades: toneladas métricas.

PAIS	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992
Albania	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Argelia	32.000	32.000	37.000	30.000	30.000	30.000	40.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Croacia	64.000	64.000	64.000	64.000	64.000	52.000	52.000	52.000	52.000	58.000	0
Chipre	10.000	10.000	10.000	-	-	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Egipto	380.000	380.000	350.000	32.000	32.000	180.000	180.000	180.000	160.000	140.000	120.000
Eslovenia	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	62.000	62.000	62.000	62.000	65.000	75.000
España	3.616.800	3.496.000	3.319.000	2.963.000	2.635.000	2.117.000	2.117.000	2.117.000	1.823.000	1.736.000	1.777.000
Francia	5.705.000	5.571.000	5.775.000	5.276.000	4.614.000	4.219.000	3.857.000	3.700.000	4.075.000	2.829.000	3.007.000
Grecia	51.940	51.940	51.940	175.000	175.000	43.000	175.000	175.000	175.000	175.000	180.000
Israel	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000	113.000
Italia	5.194.000	5.098.000	5.057.241	4.207.000	3.303.900	3.080.000	2.351.000	2.351.000	2.277.000	2.997.000	2.929.000
Malta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marruecos	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	55.000
Mónaco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Túnez	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000
Turquía	1.016.000	846.000	866.000	707.000	692.000	689.000	555.000	586.000	527.000	536.000	350.000

Fuente: The FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products (ACPWP)

La evolución de la producción total de los países del PAM a lo largo de los diez últimos años se muestra en el gráfico 3.4.5:

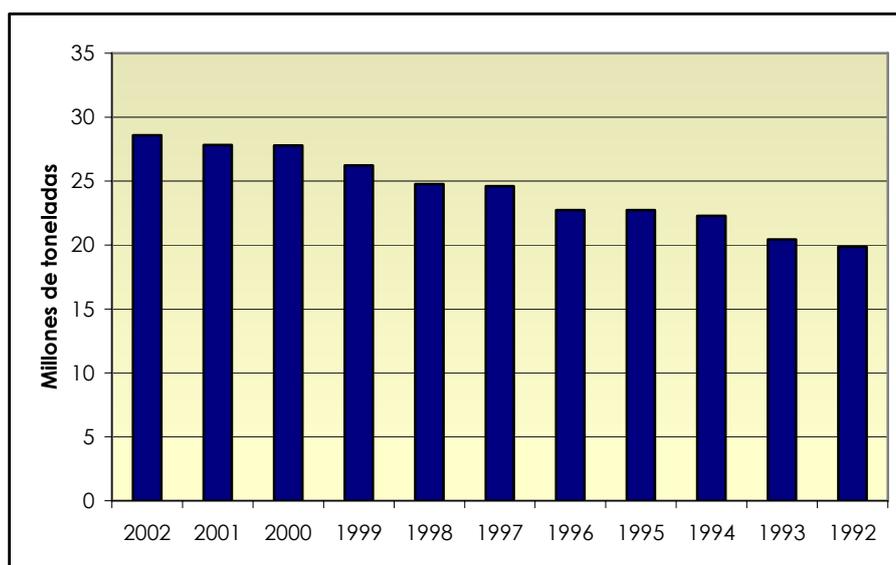


Gráfico 3.4.5. Producción Global de Papel y Cartón en los países del PAM

En el caso de la producción de papel también se observa una notable diferencia entre las distintas regiones del mediterráneo (ver tabla 3.4.4 y gráfico 3.4.6).

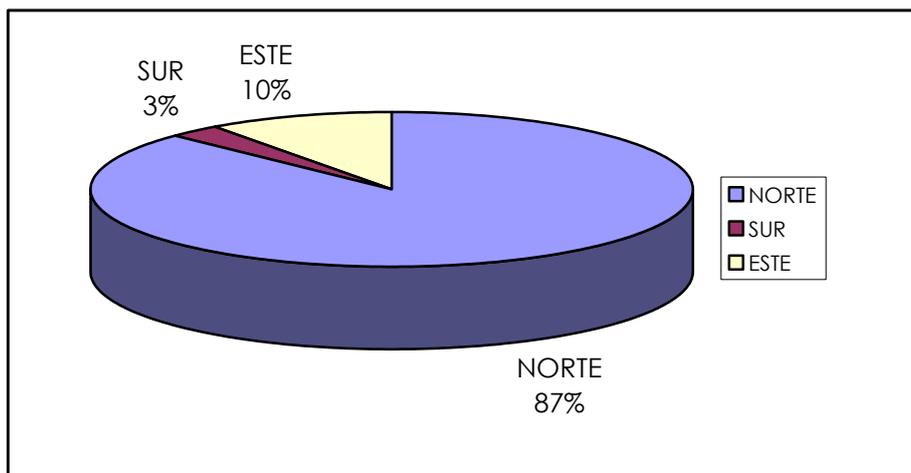


Gráfico 3.4.6. Producción de papel y cartón de los países del PAM en el año 2002

Comparando los gráficos 3.4.2 y 3.4.5 se puede observar como los países del Norte y Sur del Mediterráneo consumen más de lo que producen, mientras que los países del Este consumen menos de lo que producen, por lo que se pone de manifiesto el mercado de importación, exportación de las distintas regiones, y la necesidad o no de mayor producción de pasta y papel nacional.

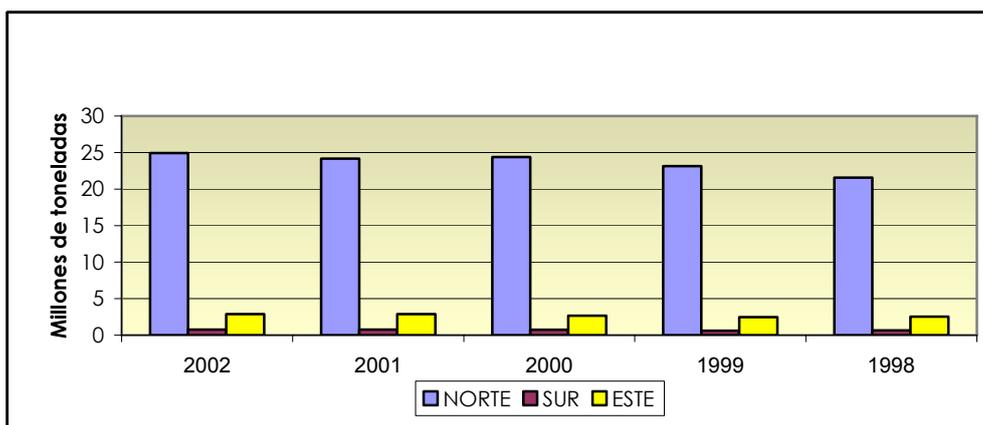


Gráfico 3.4.7. Producción de papel y cartón en los países del PAM

En cuanto a la producción de papel recuperado en los países del PAM, gráfico 3.4.8, se observa un incremento del 80% desde el año 1993 al año 2002, pasando de 8,7 millones de toneladas a 16,3. Se observa que el incremento se produce a partir de 1996 y que nuevamente se ha estancado a partir del 2000 a pesar del aumento de la producción de papel recuperado en los países del norte de la región.

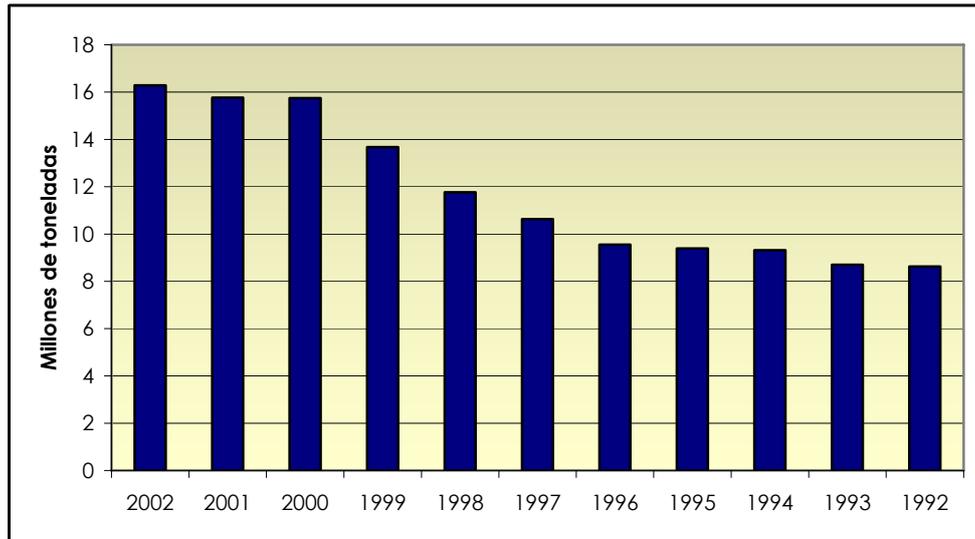


Gráfico 3.4.8. Producción Global de papel recuperado en los países del PAM

De acuerdo con los datos de producción global de papel recuperado, se observa una diferencia entre las diversas regiones del Mediterráneo (gráfico 3.4.9).

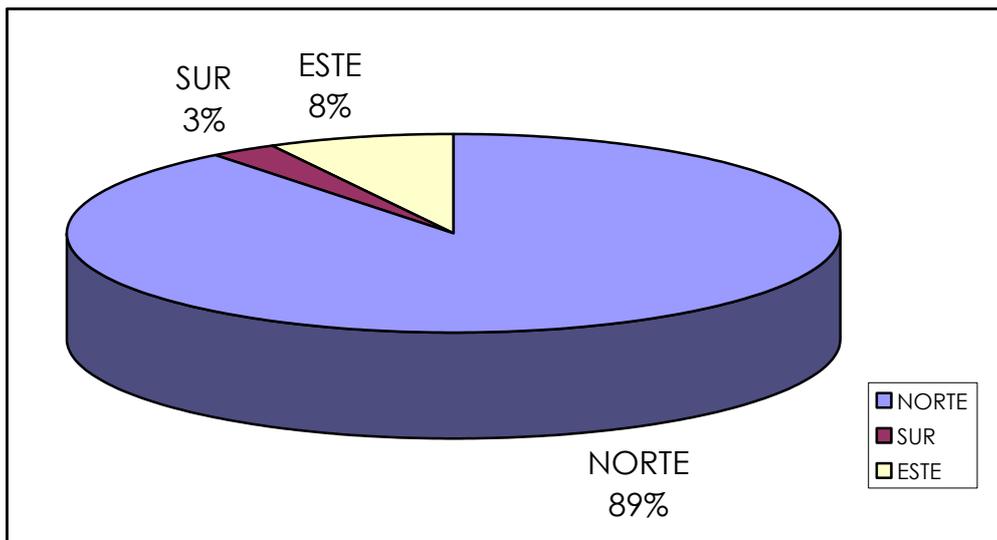


Gráfico 3.4.9. Producción de papel recuperado en los países del PAM en el año 2002

Si se analiza la evolución de la producción de papel reciclado por regiones a lo largo de varios años, se observa un incremento en todas las zonas. En la zona del Sur del Mediterráneo prácticamente no se fabricaba papel reciclado en 1998 mientras que en el 2002 la producción fue de 453.000 toneladas. Sin embargo en la zona del este del Mediterráneo ya en 1998 se producían 934.000 t de papel recuperado que se ha incrementado a 1.268.000 t en el 2002.

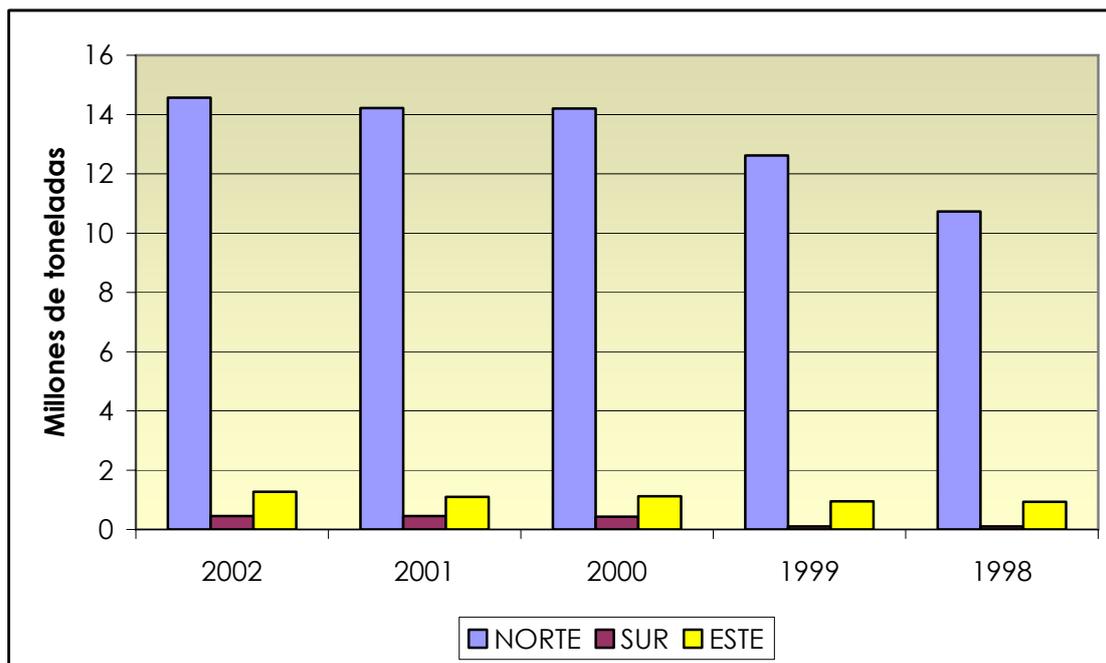


Gráfico 3.4.10. Producción de papel recuperado en los países del PAM

En los gráficos que se muestran a continuación se observa la evolución de consumos y producción de pasta, papel y cartón para cada país:

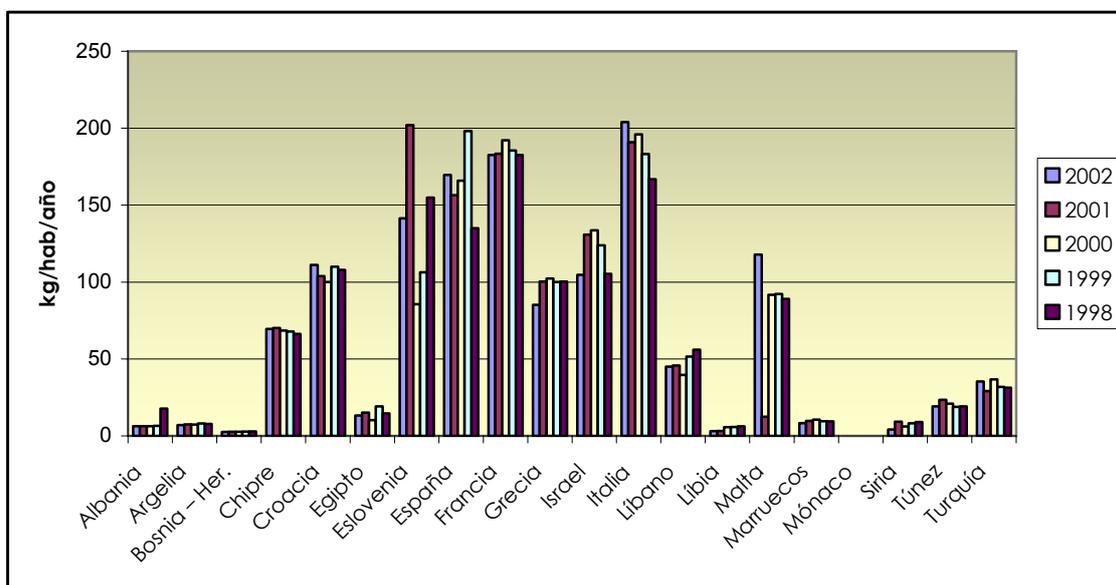


Gráfico 3.4.11. Consumo per cápita de papel y cartón en los países del PAM

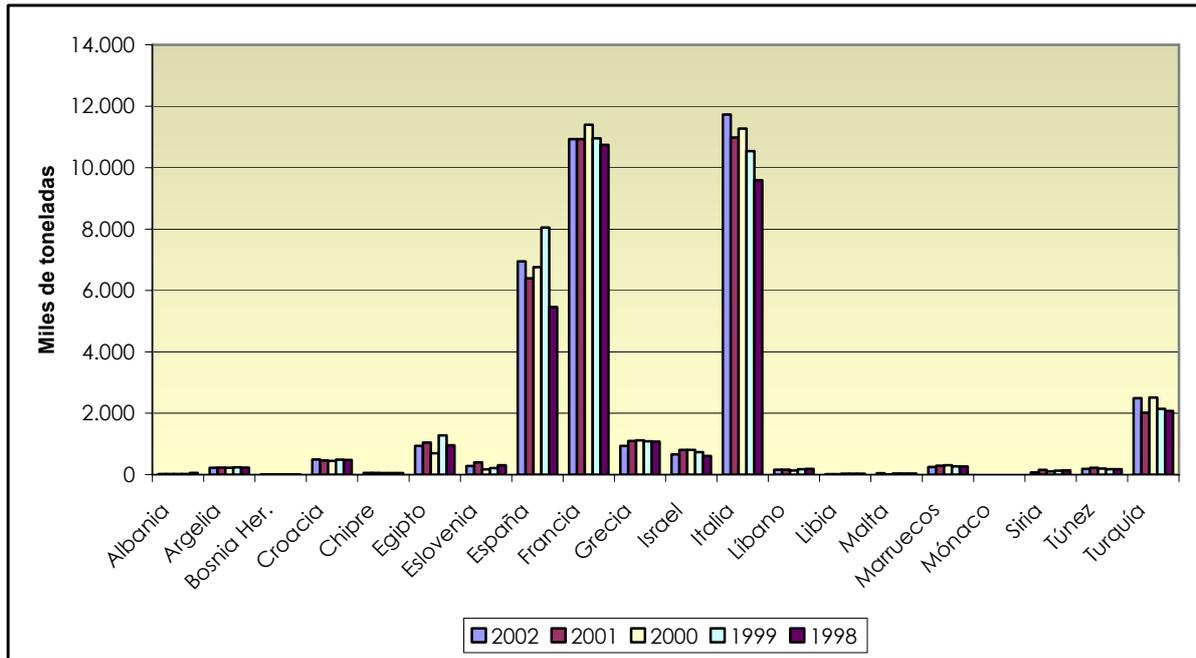


Gráfico 3.4.12. Consumo de papel y cartón en los países del PAM

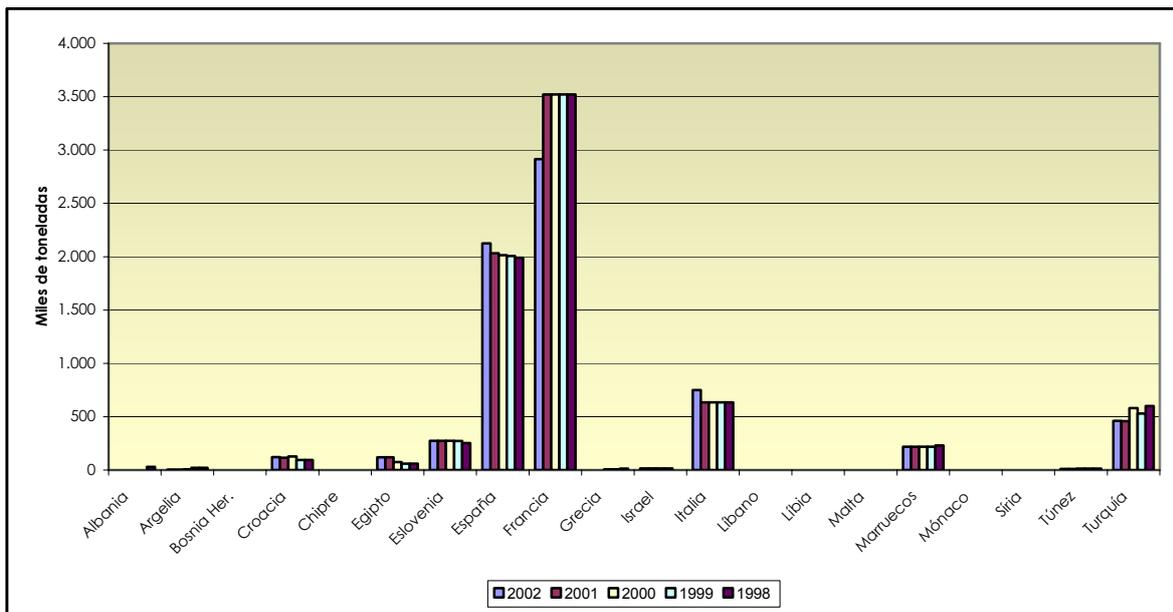


Gráfico 3.4.13. Producción de pasta en los países del PAM

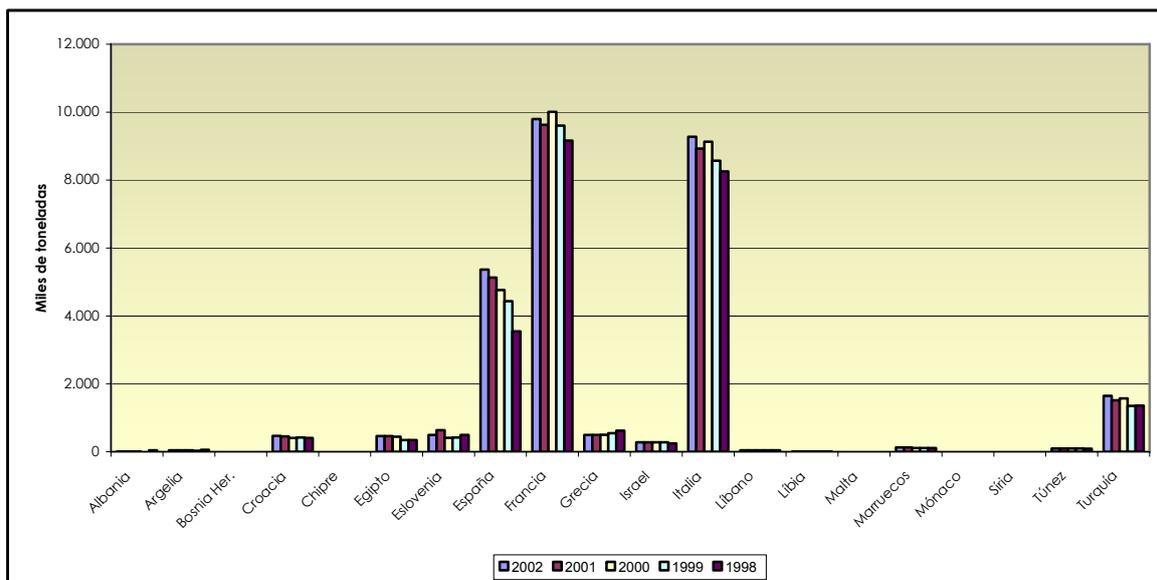


Gráfico 3.4.14. Producción de papel y cartón en los países del PAM

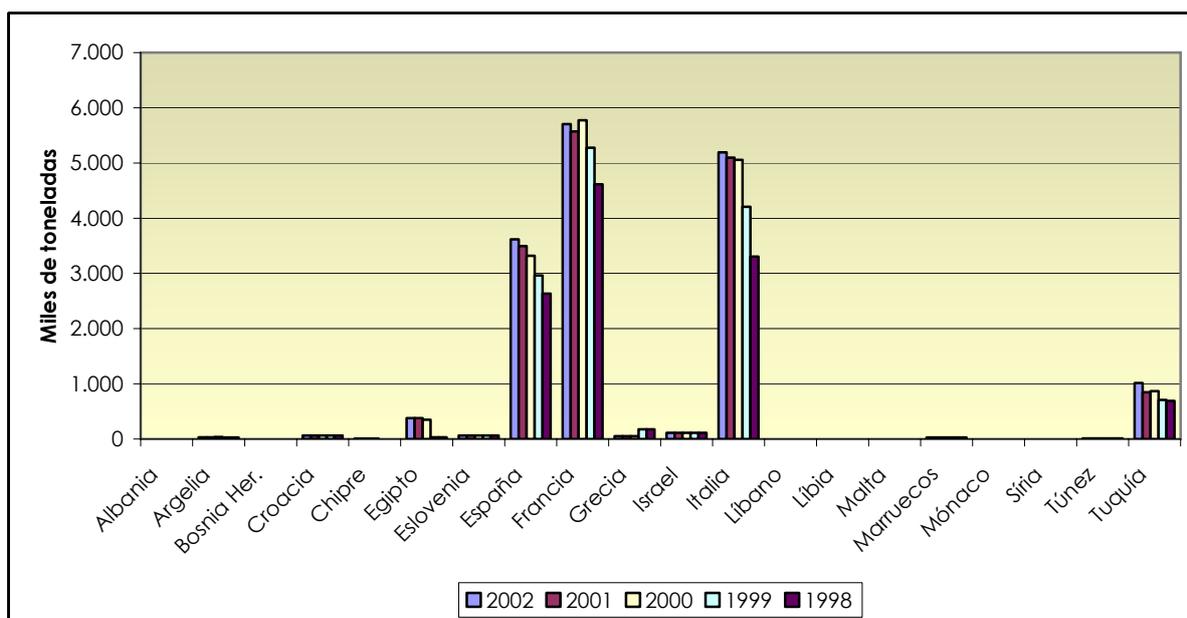


Gráfico 3.4.15. Producción de papel recuperado en los países del PAM

Las fábricas de papel contribuyen al desarrollo de pequeñas comunidades y de áreas rurales. El compromiso de las compañías con las comunidades locales varía de fábrica a fábrica dependiendo de su situación geográfica. Por ejemplo en países en desarrollo las fábricas pueden co-financiar colegios locales, mientras que en los países mas desarrollados suelen esponsorizar equipos deportivos locales.

El desarrollo de nuevas tecnologías hizo suponer, en un principio, que se produciría una disminución en la demanda de productos papeleros, sin embargo este efecto no se ha observado en la realidad, sino todo lo contrario. La comunicación, la cultura, la educación, el comercio, el transporte, etc, son campos en los que la aplicación de las nuevas tecnologías de la información está produciendo un espectacular desarrollo. La combinación ordenador-impresora ha convertido los hogares y las oficinas en pequeñas imprentas y los internautas reciben en su domicilio, convenientemente embalados en

papel o cartón, los productos comprados en la red. Internet está demostrando ser un magnífico canal de venta de libros y revistas y las últimas tecnologías abren nuevas posibilidades al mundo editorial.

No hay duda de que la red es un medio altamente eficaz, rápido y barato, para encontrar e intercambiar información y de que los ordenadores nos permiten manipular fácilmente dicha información, lo que resulta en un incremento exponencial de la cantidad de información disponible, del flujo de información y del consumo de papel. Ahora bien, es importante distinguir entre los distintos tipos de lectura. El objetivo de la lectura para acción es acceder rápidamente a datos fiables que permitan tomar una decisión y no cabe duda que en este caso el papel se ha visto desplazado. En el caso de la lectura para aprender, los estudios realizados sugieren que el aprendizaje es más eficaz si el sustrato sobre el que se encuentra la información tiene una relación espacial fija con el texto. De este modo aunque existe una alta tendencia a preferir la documentación técnica "on-line", la lectura de una hoja impresa es más eficaz que la lectura de la misma información en la pantalla del ordenador por lo que, en general, dicha información se imprime. Por último, en la lectura de relax existe una alta tendencia a preferir los textos en papel.

En el gráfico 3.4.16. se recoge la evolución del consumo mundial de papel en función de las nuevas tecnologías de la información. La constante evolución del papel está estrechamente vinculada a los grandes logros técnicos de la civilización, desde la imprenta a la ofimática. Y en sus casi dos mil años de historia, el papel no solo ha venido demostrando su compatibilidad con los sucesivos avances técnicos, sino que éstos han estado indisolublemente ligados al desarrollo de nuevos productos papeleros.

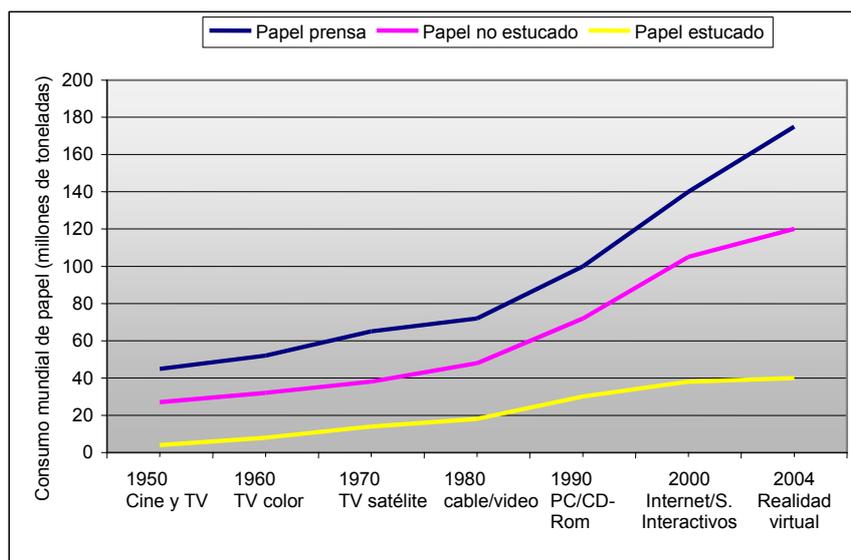


Gráfico 3.4.16. Influencia de los avances tecnológicos en el consumo mundial de papel.

En resumen, durante la última década se ha producido un importante aumento en el consumo de papel si bien se prevé un cambio en la demanda de los distintos productos, aumentando principalmente los grados de mayor calidad en los países más desarrollados y los de mayor necesidad en los países menos desarrollados.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

4.1. PRODUCTOS PAPELEROS

Una de las razones de la importancia del papel en nuestra vida cotidiana es la enorme cantidad de usos que se le pueden dar a este producto. De la misma manera, el papel puede adaptarse a las diferentes utilidades que se vayan a realizar llegando a contabilizarse hasta 500 variedades diferentes de papel.

Se puede realizar una clasificación de los tipos de papel en cuatro grandes grupos, teniendo en cuenta el uso que se va a realizar del mismo:

Envases y embalajes:

- **Papeles para cartón ondulado:** Papeles utilizados en las distintas capas de las cajas de cartón ondulado. Se fabrican básicamente con papel recuperado, si bien pueden incorporar, en distinta proporción, pasta virgen.



Rollos de cartón ondulado.



Cartón ondulado.

El cartón ondulado es una estructura formada por una o más hojas de papel ondulado, encoladas sobre una o entre varias hojas de papel o cartón plano para caras (Liners). Es un material cuya resistencia se basa en el trabajo conjunto y vertical de las distintas láminas de papel. Para obtener su mayor resistencia, la onda del cartón tiene que trabajar en forma vertical, tal como se muestra en el gráfico a continuación:



- **Papel kraft para sacos:** Papel de gran resistencia empleado en la fabricación de sacos de gran tamaño para materiales de construcción, alimentación animal, etc.
- **Cartoncillo:** Se emplea en la fabricación de estuches plegables o envases. Es un material compacto resultante de la unión, en estado húmedo, de varias capas de papel superpuestas, iguales o distintas, de pasta virgen y/o de papel recuperado, que se adhieren por compresión. Normalmente está acabado con una capa de recubrimiento de estuco.

Papel para impresión y escritura:

Utilizado para revistas, libros, cuadernos, agendas, sobres, folletos, carteles, papeles de oficina, etc. Puede ser estucado o no estucado, dependiendo del uso al que esté destinado.

Papel prensa:

Utilizado para la impresión de diarios, está fabricado mayoritariamente a base de papel recuperado o pasta mecánica. Puede ser blanco o ligeramente coloreado y su gramaje (ver más adelante) habitual oscila entre 40 y 52 g/m², aunque puede llegar a 65 g/m².

Papeles higiénicos y sanitarios, papel tisú:

Papel delgado, de bajo gramaje, fabricado a partir de fibra virgen o papel recuperado o una mezcla de ambos. Se utiliza en la higiene personal (papel higiénico, compresas, pañales, pañuelos, ...), en el ámbito doméstico (rollos de cocina, servilletas, manteles, filtros de café,...) y como material sanitario y de limpieza industrial. El crespado aumenta la superficie específica del papel y abre las fibras, permitiendo mayor capacidad de absorción y mayor flexibilidad que las de una hoja de papel corriente.



Bobinas de papel tisú.

Es importante considerar cuales son las características más importantes para cada producto que, a su vez, depende del uso posterior del mismo. En general, las características finales del papel están determinadas por las características de las fibras, por el proceso de obtención de la pasta, por la presencia de cargas, pigmentos y aditivos y por las distintas etapas del proceso de fabricación de papel.

Las propiedades más importantes a considerar son:

Propiedades estructurales

- **Gramaje:** es la masa de la unidad de superficie del papel expresada en gramos por metro cuadrado. Tiene que ser constante en todo el perfil del producto. Es función de las necesidades del usuario.
- **Espesor:** Es una medida crítica de la uniformidad. Sus variaciones afectan a la resistencia mecánica y a las propiedades ópticas y, por tanto, a la calidad de las bobinas.
- **Formación:** Una mala formación es una mala distribución de las fibras en la hoja. Por tanto, influye en la resistencia, en la aptitud del soporte al estucado, en las características de impresión y en la calidad del papel de escritura.
- **Direccionabilidad:** Se debe a la orientación de las fibras en la dirección de la máquina. Influye en las propiedades mecánicas del papel.
- **Porosidad:** Es importante para algunas aplicaciones, por ejemplo un papel poco poroso presenta problemas en el llenado de sacos y un papel muy poroso presenta problemas en la alimentación de las impresoras mediante vacío.
- **Lisura:** Es importante para la calidad y el coste de impresión. Depende del contenido en fibra corta. La humedad es también un parámetro crítico para la lisura.

Propiedades mecánicas del papel

- **Resistencia a la tracción:** Determina el comportamiento del papel bajo tensión. Indica cómo el papel resistirá las tracciones durante el paso de las bobinas a través de los diferentes equipos, durante el proceso de impresión o cuando se introduce en una fotocopidora. Es también muy importante para los papeles de envases y embalajes. Una baja resistencia puede producir deslaminación en papeles impresos, debido al tiro de la tinta. La resistencia en húmedo es importante para los papeles higiénicos y sanitarios.
- **Resistencia al estallido:** Indica la resistencia que ofrece al impacto proveniente de instrumento que presiona puntualmente sobre el papel. Es importante para los productos de envases y embalajes.
- **Resistencia al desgarrar:** Está relacionada con las uniones fibra-fibra y con la orientación de las fibras en la hoja. Tiene importancia, por ejemplo, en papeles para envases, embalajes y libros.
- **Resistencia al doblado:** Tiene importancia en libros, folletos, billetes de banco, mapas, etc.
- **Rigidez y curvatura:** Es importante para evitar que las puntas de las hojas se doblen y abarquillen, especialmente debido al tiro de las tintas de impresión. Por el contrario, una hoja demasiado rígida presentará problemas en las fotocopadoras.

Propiedades de apariencia

- **Blancura:** El grado de blancura depende de las fibras utilizadas y de la concentración de cargas y pigmentos. Las especificaciones dependen del uso final de papel.
- **Brillo:** El nivel de brillo deseado también depende del uso final del papel. Por ejemplo, mucho brillo es adecuado para mejorar la calidad de impresión de anuncios en revistas y es perjudicial para un libro.
- **Opacidad:** Mide cuanta luz es retenida por las partículas de la hoja que atraviesa. Se modifica con el refinado y con la proporción de cargas y colorantes. Es una de las especificaciones para los papeles de impresión y escritura.

Influencia del medio en las propiedades del papel

- **Humedad:** Es un parámetro crítico durante el estucado porque influye en la estabilidad dimensional de la hoja. Asimismo, un exceso de humedad produce ennegrecimiento durante el calandrado y un papel muy seco que se puede agrietar.
- **Estabilidad dimensional:** Depende de la humedad y de la capacidad de las fibras de hincharse y absorber agua.
- **Permanencia del papel:** Representa la resistencia del papel al deterioro debido al ambiente. El envejecimiento depende del contenido en lignina de las pastas, que produce el agrietamiento y amarilleo del papel. Es muy importante para papeles de uso permanente: archivos, libros, etc.

En la tabla 4.1.1 se resumen las propiedades más importantes para cada clase de papel.

Tabla 4.1.1. Propiedades más importantes del papel

PAPEL DE ENVASES Y EMBALAJES
Económico Alta resistencia: longitud de rotura, índice de desgarro y estallido Rigidez Estabilidad dimensional Alta protección: poca penetración de humedad, grasas, etc. Pocas impurezas en el caso de papeles en contacto con alimentos Buena calidad de impresión
PAPEL DE ESCRITURA
Buena formación Suficiente resistencia y rigidez Buena resistencia a la penetración de tinta Textura adecuada para escribir y borrar Suficiente opacidad para evitar transparencias Buena apariencia, blancura Permanente
PAPEL DE IMPRESIÓN
Alta uniformidad para poder controlar el proceso de impresión Buena opacidad, blancura, brillo, formación, etc., porque estas propiedades influyen en la calidad de la impresión Resistencia moderada Estabilidad dimensional Curvatura

Cada tipo de producto requiere de unas propiedades del papel diferentes las cuales se consiguen optimizando la selección de materias primas, el contenido en cargas, pigmentos y aditivos así como cada una de las etapas del proceso de fabricación, desde la caja de alimentación hasta la calandra. En una máquina de papel cada ajuste cambia, favorable o desfavorablemente, las características del producto. En muchas ocasiones, el fabricante tiene que decidir sacrificar una propiedad para cumplir las especificaciones del cliente respecto a otra propiedad del papel más fundamental. Es necesario, por tanto, conocer las características más importantes para cada producto y cómo se pueden

alcanzar durante el proceso de fabricación, así como entender la relación existente entre las diferentes propiedades.

En general en los países del PAM el consumo de papel y cartón es mayor que la producción, y además están muy por debajo de los consumos medios europeos lo que permite suponer un crecimiento de estos sectores en los próximos años, con la instalación de nuevas máquinas en la región.

4.2. MATERIAS PRIMAS

El papel es una estructura obtenida a partir de fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. La producción de pasta es un proceso de separación de las fibras; mientras que la fabricación de papel es un proceso de consolidación de las fibras individuales de la pasta en una estructura integrada en forma de hoja resistente y flexible.

La materia prima principal para la fabricación de productos papeleros es la fibra de celulosa, bien sea fibra virgen o fibra secundaria, si bien también se utilizan otras materias primas auxiliares para reducir los costes (como es el caso de las cargas minerales), para mejorar el proceso de fabricación (como es el caso de los aditivos de proceso), o para mejorar las propiedades del producto final (como es el caso de los pigmentos, agentes de encolado, agentes de estucado, etc.).

4.2.1. Materias primas celulósicas

La materia prima fundamental para la obtención de fibras de celulosa es la madera aunque también se pueden obtener de otras fuentes como el lino, el cáñamo, el ramio, la paja de cereales, el bagazo de caña de azúcar, el bambú, el esparto, el algodón, etc. Las fibras agrícolas constituyen una importante fuente alternativa de celulosa debido a que las plantas de las que proceden suelen tener un alto rendimiento y se adaptan fácilmente a diferentes tipos de suelos, por lo que se vienen utilizando desde muy antiguo.

En la actualidad, las pastas de fibras no madereras representan el 7%, aproximadamente, de la producción mundial de pasta de fibra virgen. Sin embargo, en países en desarrollo, con pocas reservas forestales, pueden llegar a representar más del 30% de la producción total de pastas (M. B. Roncero, A. L. Torres, J. F. Colom y T. Vidal, *Bioresource Technology*, 2003, 87, 3, 315-323; L. Paavilainen, *Pulp Pap. Int.*, 1998, 40, 6, 61-66). En Turquía el uso de paja se ha incrementado durante los últimos años alcanzando en la actualidad el 9% de la producción de pasta de fibra virgen (N. S. Sadawarte, *Pulp Pap. Int.*, 1995, 37,6, 84-95).

Desde el punto de vista morfológico las fibras de plantas no madereras son tan diversas como las plantas de las que se pueden obtener. Entre ellas se pueden encontrar desde fibras muy largas, más largas que las obtenidas a partir de madera de coníferas, hasta fibras cortas, similares a las de frondosas. Las plantas que tienen un mayor porvenir como materias primas alternativas a la madera son el bagazo, la paja y el bambú, mientras que otras, como el esparto, se utilizan porque confieren propiedades especiales a los papeles.

Los beneficios medioambientales del uso de estas fibras alternativas no está totalmente claro en la actualidad y existen opiniones muy dispares. Por un lado, se pueden utilizar residuos agrícolas, como la paja, especialmente útil como fuente alternativa de fibra corta.

Pero, por otro lado, este tipo de plantas generan unos efluentes líquidos difíciles de tratar. El principal problema radica en la pequeña capacidad que suelen tener este tipo de instalaciones industriales, en el alto contenido en sílice de estas plantas y en el bajo poder calorífico de las lejías negras generadas. Estos factores impiden la recuperación de las lejías negras por métodos tradicionales, no existiendo, en la actualidad, un tratamiento de las mismas que sea técnica y económicamente viable.

La madera como materia prima

Las fibras de celulosa provienen fundamentalmente de la parte leñosa del tronco. La disposición y forma de los diversos elementos del tronco corresponden a tres funciones principales: sostener la copa, transportar la savia y almacenar alimentos. En el tronco se consideran tres secciones: transversal (x), radial (r), y tangencial (t).

La observación de una sección transversal (figura 4.2.1) de un tronco nos permite identificar fácilmente:

- La corteza o parte más externa de la planta, en general de color mas oscuro, que no interesa para hacer pasta de papel y suele se eliminada antes del proceso de obtención de pasta.
- El leño o xilema en el que se distinguen, en las maderas provenientes de las zonas templadas, los círculos anuales. Es de esta parte del tronco de donde provienen las fibras que se utilizan como materia prima de celulosa para hacer papel.
- En el centro del tronco se encuentra la médula.

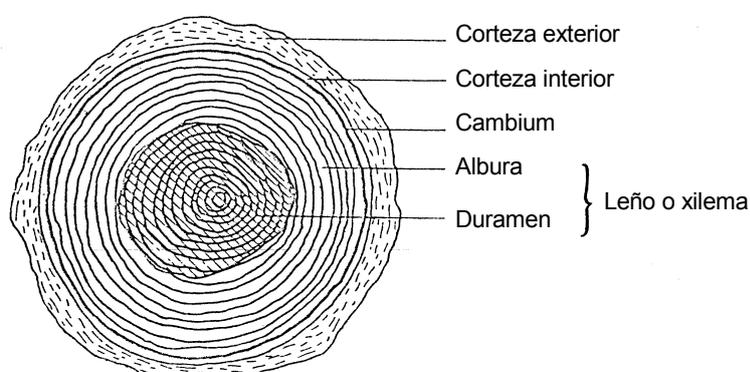


Figura 4.2.1. Sección transversal de un tronco maduro.

Las características más importantes de las fibras son la longitud y el espesor de la pared celular. La longitud está asociada con la resistencia del papel, especialmente con la longitud de rotura, si bien la resistencia final del papel no sólo depende de la resistencia individual de las fibras sino también de las uniones entre ellas, que se favorecen con el refino. El papel de fibra larga tiene una estructura abierta, mayor voluminosidad y permeabilidad al aire y presenta una formación peor. A su vez, un menor espesor de la pared celular de las fibras favorece el número de uniones fibra-fibra.

Durante mucho tiempo se ha creído que la mejor madera para la fabricación de papel era la que daba lugar a unas fibras más largas. Hoy en día se ha demostrado que para ciertas clases de papel las fibras cortas son mejores, comunicando propiedades interesantes tales como opacidad y buena formación. La madera blanda de coníferas (pino, abetos, cipreses, piceas, alerces, secuoyas, araucarias, etc.) da lugar a fibras largas. La madera dura de frondosas (sauces, chopos, álamos, nogales, abedules, eucaliptos, olmos, robles, encinas, alcornocques, etc.) produce fibras cortas. El límite inferior para que una fibra sea apta para producir papel se sitúa en una longitud de 0,5 mm.

La longitud de las fibras de coníferas mas habituales varía de 2 a 5 mm, y la longitud media se sitúa en 3 mm. Las fibras largas tienen una gran tendencia a formar redes tridimensionales por entrecruzamiento mecánico o floculación de las fibras cuando se encuentran suspendidas en agua. La anchura de las fibras varía según sea de crecimiento de verano o de primavera. La madera de verano tiene fibras de 20 a 30 μm y la madera de primavera de 50 a 65 μm , por lo tanto la relación longitud/anchura es aproximadamente de 100/1. Desde el punto de vista morfológico las fibras de coníferas se presentan en forma de cintas planas con los extremos redondeados o terminados en puntas. Las fibras de coníferas llamadas también traqueidas se distinguen entre sí por el número, forma y disposición de las punteaduras que presentan, que pueden ser simples o areoladas.

La longitud de las fibras de frondosas varía de 1 a 2 mm. Su diámetro varía de 10 a 40 μm , lo que hace que la relación longitud/anchura esté entre 100/1 y 50/1. A diferencia de las fibras de coníferas las de frondosas tienen un alto contenido en constituyentes no fibrosos. Entre estos constituyentes se incluyen vasos, segmentos de vasos y restos de la pared celular, que afectan tanto a la fabricación del papel como a las propiedades finales de la hoja. Los vasos que presentan las frondosas, tienen una longitud media de 20 a 500 μm , estos elementos las diferencian de las resinosas. Las diferencias existentes entre los vasos son las que sirven para distinguir las frondosas entre sí. Existen también células de parénquima con unas dimensiones que varían entre 20 y 200 μm .

Muchas de las propiedades de las fibras y finos son debidas a su composición química. Las pastas de fibras de madera contienen celulosa, hemicelulosa y lignina dispuestas en una mezcla compleja en la pared celular. La celulosa es una fibra vegetal que conforma las paredes celulares de los árboles y otras plantas, y que representa el 50% de su constitución física. La estructura química de la celulosa está formada por uniones de moléculas de glucosa adheridas entre sí por la lignina, sustancia que refuerza las células, confiriéndoles consistencia y rigidez. La hemicelulosa es un elemento que forma parte de la pared celular de la celulosa, siendo una cadena de glucosa más corta que la celulosa. Las cantidades relativas de estos compuestos en la madera son: 40 – 50% de celulosa, 20 – 30% de hemicelulosa, 20 – 30% de lignina y 1 – 10% de compuestos extractivos, dependiendo de la especie maderera.

Asimismo, después del proceso de separación de las fibras a partir de la madera, pueden permanecer compuestos orgánicos, como la esencia de la trementina, resinas solubles (sobre todo álcalis), almidones, azúcares, materiales grasos y sustancias extractivas que no han sido totalmente eliminados durante la fabricación de la pasta y que van a influir considerablemente sobre el proceso de fabricación del papel.

La figura 4.2.2 muestra un corte transversal de una fibra con las distintas capas que la componen. La composición química varía desde la superficie de la fibra hacia el centro, así el contenido en celulosa aumenta desde un 0% hasta el 55%. El contenido de hemicelulosa va desde un 10% a un 40%, y el contenido en lignina disminuye desde el 90% al 5%. De este modo las características químicas de la superficie de una fibra dependen del proceso de tratamiento químico y/o mecánico al que se haya sometido.

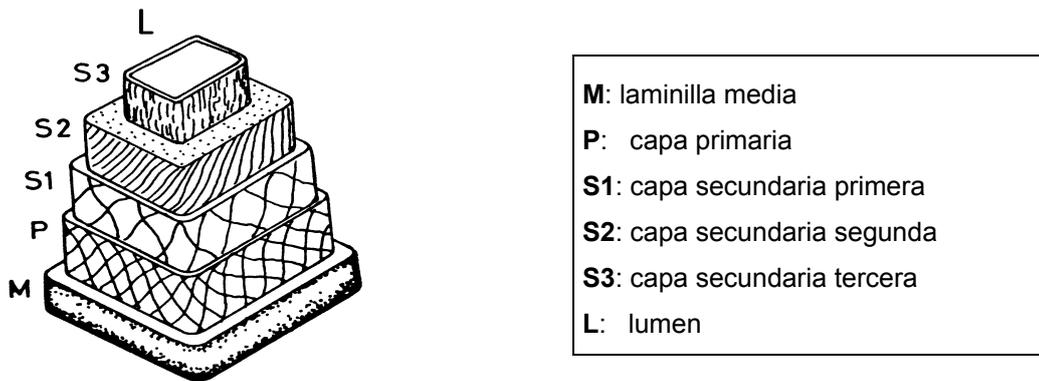


Figura 4.2.2. Corte transversal esquemático de una fibra

Algunos de los procesos de obtención de las pastas pueden romper la estructura de la pared exterior y las propiedades químicas que predominan son las de la capa S2. Sin embargo, los procesos mecánicos o los procesos químicos suaves dejan una gran parte de la capa primaria intacta, la cual controla las propiedades superficiales de las fibras.

Las cadenas de celulosa existentes en la superficie de las fibras contienen grupos hidroxilo que participan en la formación de puentes fibra-fibra en el papel. Los grupos hidroxilo celulósicos, tanto de

la superficie de las fibras como del interior de la pared celular, también interaccionan con el agua y tienen gran influencia en el fenómeno de hinchamiento de las fibras asociado al proceso de refino.

El contenido de hemicelulosa también influye en el hinchamiento de las fibras durante el refino debido a las grandes interacciones que presenta con el agua, lo cual favorecerá la formación de puentes fibra-fibra en la hoja de papel.

La lignina residual influye negativamente sobre la capacidad de las fibras para formar puentes entre fibras, inhibe el hinchamiento de las fibras en el agua, produce un color oscuro en las pastas y en el papel y los productos finales presentan una alta tendencia al envejecimiento.

Papel recuperado como materia prima

Otra fuente importante de fibras de celulosa es el papel recuperado. Al hablar del uso de papel recuperado como materia prima es importante tener en cuenta que existe un límite práctico y técnico en la recuperación del papel. En primer lugar hay que considerar que determinados productos no son recuperables y, en segundo lugar, que una misma fibra no puede ser reciclada más de 4-6 veces debido al deterioro que sufre en cada etapa de reciclado. Por tanto, el uso de fibra virgen siempre es, y va a ser, necesaria y aunque algunos países utilicen prioritariamente un determinado tipo de fibra, tiene que existir un balance global adecuado para evitar el deterioro progresivo de los productos.



A modo de ejemplo en la figura 4.2.3. se representa el flujo actual de fibras en Europa, el objetivo para el año 2005 es aumentar la recuperación y el reciclado hasta, al menos, el 56% de los productos de papel y cartón consumidos en Europa. Alcanzar un 56% en la tasa de reciclaje requiere que el reciclaje de papel usado pase de las actuales 39 millones de toneladas a unas 48 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 25%.

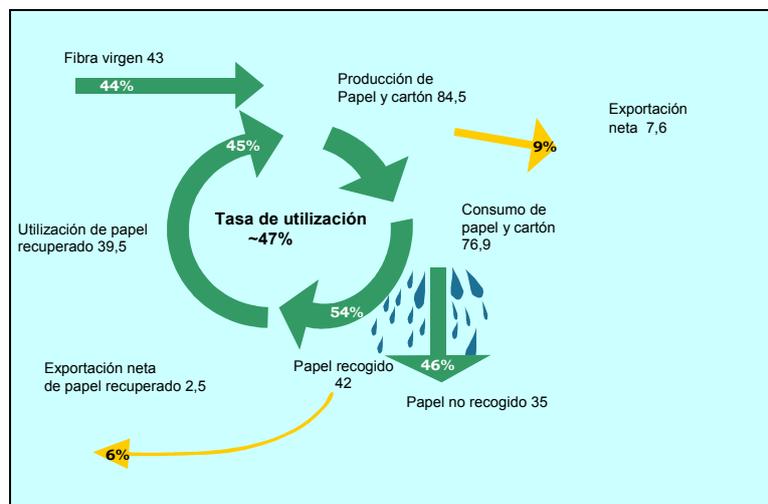


Figura 4.2.3. Flujo de Fibras en Europa.

El papel se puede recuperar a través de diversas vías:

- La recogida industrial en empresas, editoriales e imprentas, y grandes superficies comerciales.
- La recogida selectiva a través de contenedores determinados y la recogida “puerta a puerta” de los pequeños comercios.
- Las recogidas especiales en oficinas, en edificios de organismos e instituciones públicas, en puntos limpios, etc.



Aunque en los últimos años se ha realizado un importante esfuerzo en el desarrollo de la recogida selectiva y en conseguir la colaboración ciudadana, es todavía necesario mejorar la dotación de contenedores, incrementar la calidad de los servicios de recogida, promover su correcto uso, así como mejorar la organización y sistematización de la recogida en pequeños comercios, establecimientos docentes, oficinas, etc.

El grado de tratamiento al que se somete el papel recuperado para la obtención de pasta depende de la calidad inicial del papel recuperado y de la calidad del producto final. El proceso de preparación de la pasta en fábricas que utilizan esta materia prima se basa, fundamentalmente, en la eliminación de los contaminantes que se han añadido al papel durante la fabricación del producto final o durante su uso. En algunos casos el papel recuperado presenta más de un 35% de tintas, adhesivos y compuestos de estucado y su eliminación puede producir importantes cantidades de lodos a los cuales hay que buscarles una salida adecuada, para evitar que acaben en vertederos. Por tanto, aunque técnicamente sea viable la utilización de un papel recuperado de baja calidad para obtener un producto de alta calidad, este proceso no es siempre viable desde el punto de vista medioambiental o económico. En general, se trata de utilizar el papel recuperado para la obtención del mismo grado de papel o inferiores.

Los papeles recuperados de baja calidad (mezclas, cajas, cartones) se utilizan para fabricar productos de embalaje y cartones. Los grados destintados (periódicos, revistas, catálogos) se utilizan para obtener papel prensa y papeles sanitarios. Los de alta calidad (recortes de impresión, papel de oficina) se pueden utilizar para todo tipo de productos.

Aunque se maximice la utilización de papel recuperado, el uso de fibra virgen será siempre necesario y, por tanto, es necesario optimizar el uso de una u otra fuente de celulosa en función del producto que se desee obtener, para minimizar el impacto ambiental en su globalidad. A la hora de seleccionar la materia prima más adecuada para un determinado producto hay que conocer la relación existente entre las propiedades de las fibras, las propiedades de las pastas y las propiedades de los productos.

4.2.2. Materias secundarias y auxiliares

Aunque, como se ha comentado anteriormente, la materia prima fundamental para la fabricación del papel es la fibra celulósica, aproximadamente el 10-15% de las materias utilizadas en la actualidad

para la fabricación de papel son no fibrosas y, dentro de éstas, las más utilizadas son las cargas minerales y los pigmentos.

Cargas minerales y pigmentos

Aunque las cargas minerales se han usado desde hace más de 200 años, su utilización ha aumentado considerablemente durante los últimos años. En Europa el consumo de cargas minerales y pigmentos fue de 15,5 millones de toneladas en el año 2003, lo que corresponde al 16% de las materias primas. En la región del Mediterráneo el porcentaje de cargas utilizadas es ligeramente inferior, siendo su consumo actual de 4 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente 3,5 millones de toneladas se consumen en la región norte del Mediterráneo, 0,4 millones en la región Este y 0,1 millones de toneladas en la región sur del Mediterráneo.

Entre las cargas naturales más utilizadas se encuentran: arcillas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o caolín, talco ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), carbonato de calcio (CaCO_3) molido o precipitado, que le confiere al papel una resistencia al envejecimiento más elevada, mica ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La utilización de una u otra es función del pH al que tenga lugar el proceso de fabricación, de la disponibilidad, del precio y de las características finales del papel. Por ejemplo, el caolín se utiliza en medio ácido, mientras que el carbonato cálcico se utiliza en fabricaciones en medio alcalino o neutro, puesto que es soluble en medio ácido. El objetivo de la utilización de cargas minerales es doble:

- Reducir el coste de fabricación.
- Mejorar la calidad del papel: al rellenar los huecos que dejan las fibras se disminuye la rugosidad del papel, lo cual mejora la formación, la impresión, la opacidad, la estabilidad dimensional, el brillo y, en ocasiones, el grado de blancura. La presencia de cargas también favorece la absorción de tintas en la superficie y disminuye la penetración del vehículo de las mismas hacia la superficie opuesta.

Por el contrario, los pigmentos son aditivos relativamente nuevos, más caros que las fibras, que se utilizan en pequeñas proporciones para mejorar las propiedades del papel, fundamentalmente el grado de blancura y la calidad de impresión. Los pigmentos más utilizados son: caolín estructurado, silicato sintético, dióxido de titanio, hidróxido de aluminio, etc.

El buen funcionamiento de las cargas y pigmentos durante el proceso de fabricación depende de su facilidad para dispersarse formando una suspensión estable, del grado de retención y de su efecto sobre las propiedades del papel. Este funcionamiento depende de las siguientes características:

- **Propiedades ópticas:** están relacionadas con la composición química, índice de refracción, distribución del tamaño de partícula y forma de las partículas.
- **Tamaño y forma de las partículas:** El tamaño óptimo está comprendido entre 0,2 y 0,5 μm , aunque su tamaño suele ser superior. Las partículas porosas o aglomeradas se comportan mejor que las partículas grandes.
- **Superficie específica:** está relacionada con el tamaño, distribución de tamaños y forma de las partículas. Influye en el consumo de aditivos durante la fabricación y en las características de impresión del papel.
- **Abrasividad:** depende de la dureza, el tamaño y la forma de las partículas.
- **Solubilidad:** En medio neutro o alcalino la mayoría de las cargas presentan muy baja solubilidad. A $\text{pH} < 7$ la solubilidad del carbonato cálcico aumenta considerablemente.
- **pH:** depende de los grupos superficiales de las partículas en suspensión y de los compuestos que se hayan disuelto.
- **Energía superficial:** determina el grado de penetración de agua.
- **Pureza:** influye en la abrasividad, solubilidad, blancura, propiedades superficiales...
- **Disponibilidad y precio.**

En la tabla 4.2.1 se observa que la proporción de cargas utilizadas varía en función del tipo de producto. En general, las cargas se añaden hasta en un 20-35% y los pigmentos en un 5-10%.

Tabla 4.2.1. Proporción de cargas utilizadas en función del producto

TIPO DE PAPEL	TIPO DE CARGA	CONTENIDO (%)
Papel prensa		
A partir de fibra virgen	--	--
A partir de fibra secundaria	caolín/carbonato	5-15
Papel de impresión	caolín/talco	15-35
Papel estucado	caolín/carbonato	10-30
Papel fino	carbonato	20-25

La desventaja del elevado uso de cargas minerales es que se reducen las uniones entre fibras, disminuye la resistencia del papel y el grado de encolado y aumenta la abrasión en la máquina. Asimismo, se produce un aumento en el consumo de productos químicos y, si la retención es baja, se puede producir el efecto de “doble cara” en el papel, cuando se utiliza una máquina fourdrinier, como se explicará posteriormente. Un aumento de las cargas produce no sólo una disminución de la resistencia del papel sino que aumenta la tendencia a que se forme polvo durante la impresión debido a la existencia de un menor número de fibras por unidad de gramaje y un menor número de uniones fibra-fibra en la hoja de papel.

El problema que presentan las partículas de carga no retenidas en la tela de formación es que pasan al circuito de las aguas blancas, con el resultado de aumentar el porcentaje de las partículas finas, cuando estas aguas se recirculan a la caja de alimentación de la máquina de papel.

Por otro lado las cargas tienden a depositarse en las tinas de almacenamiento y en las tuberías de trasiego de la pasta de papel; es importante una buena agitación de las tinas y una velocidad adecuada de flujo en las tuberías para poder salvar este problema.

Aditivos

Finalmente, a las suspensiones de pasta, formadas generalmente por fibras celulósicas, cargas minerales y pigmentos, se les añade una serie de productos químicos que se dividen en dos grandes categorías: aditivos funcionales y aditivos de proceso. Los aditivos funcionales tienen como objetivo mejorar una determinada propiedad, ya existente en el papel, o impartirle una nueva propiedad. Los aditivos de proceso facilitan el funcionamiento de los aditivos funcionales, ayudan a mantener limpia la máquina de papel o mejoran el funcionamiento de la máquina, disminuyendo el número de paradas y aumentando la productividad.

En la tabla 4.2.2 se resumen los principales aditivos funcionales y de proceso utilizados en la actualidad y se describen sus principales aplicaciones.

Tabla 4.2.2. Principales aditivos funcionales y de proceso

	ADITIVOS	APLICACION
ADITIVOS FUNCIONALES	Agentes de encolado: Cola de resina+Al ₂ (SO ₄) ₃ , Anhídrido alquencil succínico (ASA), dímeros de alquilceteno (AKD)	Resistencia a la penetración de agua en el papel.
	Agentes de resistencia en seco: Almidón catiónico, poliacrilamidas (PAM)	Aumentan la resistencia.
	Resinas de resistencia en húmedo: Urea-formaldehído, poliaminas, poliamidas	Aumentan la resistencia del papel saturado en agua
	Agentes colorantes y tintas	Producen el color deseado
ADITIVOS DE PROCESO	Agentes de control de pitch : Talco, aluminio, dispersantes	Previenen la deposición de pitch
	Agentes de drenaje: PAM, poliaminas, almidón catiónico	Aumentan el desgote en la tela de formación
	Agentes de formación: Polímeros aniónicos de alto peso molecular	Mejoran la formación de la hoja reduciendo la floculación mecánica
	Agentes de retención: C y A –PAM, poliaminas, almidón -C	Mejoran la retención mediante floculación química
	Antiespumantes	Reducen la formación de espumas
	Funguicidas y biocidas	Evitan el crecimiento de microorganismos

Entre los aditivos químicos utilizados, cabe destacar el importante papel que desempeñan los floculantes en la parte húmeda de la máquina de papel, a pesar de que su dosificación es baja, porque afectan a la productividad de la máquina y a la calidad del producto final. Como su nombre indica, los floculantes se utilizan para controlar el grado de floculación de las distintas fracciones presentes en la suspensión de pasta. Desde este punto de vista se debe diferenciar entre tres aplicaciones diferentes: la floculación de fibras, la floculación de finos y cargas y la floculación de la materia disuelta y coloidal.

La floculación de fibras afecta negativamente a la formación de la hoja y se puede controlar mediante polielectrolitos aniónicos. La floculación de finos y cargas determina el grado de retención y drenaje alcanzado en la parte húmeda de la máquina y se consigue mediante la adición de polielectrolitos catiónicos de medio o alto peso molecular o de sistemas duales. Por el contrario, la fijación de la materia disuelta y coloidal a las fibras, para evitar su acumulación en los circuitos de aguas, se consigue mediante coagulantes y floculantes catiónicos de bajo peso molecular.

4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

4.3.1. Preparación de la materia prima

Como se ha indicado en apartados anteriores, la materia prima principal para la obtención de papel es la fibra celulósica proveniente de la madera. El proceso de producción de pasta de celulosa es un proceso de separación de las fibras de los materiales no fibrosos de la madera, el cual se realiza mediante métodos mecánicos, químicos o semiquímicos. Asimismo, los papeles utilizados se pueden reciclar constituyendo en este caso el grupo de pastas recicladas cuyo proceso de preparación consiste, fundamentalmente, en separar los contaminantes que acompañan a las fibras secundarias.

En función del tipo de proceso utilizado para la obtención de pasta de papel es necesario llevar a cabo distintas operaciones previas de preparación de la materia prima con el fin de obtener troncos o astillas dependiendo del proceso de fabricación.

En la zona de preparación de la madera se llevan a cabo varias tareas básicas: recepción de la madera; preparación de la madera; y recogida de todos los materiales desechados en las operaciones anteriores y envío para su eliminación final. Independientemente del proceso de obtención de pasta es necesario efectuar el lavado, descortezado y troceado de la madera.

Después de la recepción de la madera, la primera operación que se lleva a cabo es un lavado de los troncos, con el fin de eliminar arena y suciedad. Posteriormente, se produce el descortezado, puesto que la corteza contiene poca fibra, presenta un alto contenido de sustancias extractivas, es oscura y con frecuencia acarrea grandes cantidades de tierra.

Existen varios tipos de decortezadoras, una de las más comunes es la de tipo mecánico, formada por un tambor cilíndrico rotatorio inclinado de extremos abiertos, en el cual los rollizos entran por uno de sus extremos, chocando y frotándose unos con otros, hasta que se separa la corteza. La corteza cae del tambor y se recoge para su posterior tratamiento, normalmente se aprovecha como combustible. El descortezado también se puede realizar hidráulicamente, mediante chorros de agua a alta presión; en este caso se producen aguas residuales que se deben tratar.

Los troncos, una vez descortezados, se trocean en segmentos pequeños, siendo estos rollizos la materia prima para la obtención de pasta mecánica de muelas. En los métodos mecánicos de refinadores o para la obtención de pastas químicas es necesario una etapa adicional que consiste en la producción de astillas.

Las astilladoras producen astillas de diversos tamaños, pero la preparación de la pasta requiere que éstas sean de dimensiones específicas para asegurar un flujo constante a través de los refinadores y un nivel de reacción uniforme en los digestores. Por tanto, las astillas se hacen pasar por una serie de cribas donde se clasifican por longitud y grosor, devolviéndose las astillas demasiado grandes a las astilladoras, mientras que las menores se utilizan como residuos combustibles.

4.3.2. Elaboración de la pasta papelera

El objetivo de los procesos de obtención de la pasta (producto intermedio en la manufactura del papel y cartón) es la separación de fibras de celulosa de la madera.

Las propiedades de los productos terminados, papeles y cartones, dependerán de las propiedades de las pastas utilizadas en su fabricación. Éstas variarán a su vez en función de la especie maderera utilizada y del proceso empleado en su obtención.

La separación de las fibras de celulosa de la madera se puede realizar mediante métodos mecánicos, químicos o semiquímicos, dando lugar a los distintos tipos de pastas papeleras. Asimismo, se pueden obtener pastas recicladas mediante procesos de destintado de papelote (DIP), como se detallará en el apartado 4.3.5 de este manual.

Los métodos mecánicos llevan a cabo un proceso de desfibrado mediante la acción mecánica de una muela (piedra) (pastas SGW) o de un refinador de discos (pastas RMP). En este proceso la madera sólo cambia físicamente, no empleándose productos químicos. La pasta obtenida por estos métodos es más económica debido, por un lado, a la sencillez del proceso de fabricación, y, por otro, al elevado rendimiento del proceso (en torno al 97%). El grave inconveniente de este tipo de pastas es la calidad de las mismas, ya que tienen poca resistencia y amarillean fácilmente con el tiempo.

Con el fin de conservar las ventajas del proceso (principalmente su elevado rendimiento) y mejorar sus defectos (resistencia mecánica) se han desarrollado nuevos métodos de fabricación como son los de obtención de pastas termomecánicas (TMP), químico-mecánicas (CMP) o las pastas químico-termomecánicas (CTMP) en las que se realiza un tratamiento térmico de las astillas antes y durante el refinado y/o un tratamiento previo de las astillas mediante la incorporación de reactivos químicos. La producción de este tipo de pastas está aumentando progresivamente.

La pasta química, como su nombre indica, se diferencia de los otros tipos de pastas para papel en que la celulosa se separa de la madera por procedimientos químicos. En este caso, al producirse la separación de la celulosa del resto de componentes de la madera, los rendimientos son muy inferiores a los de las pastas mecánicas, pero las pastas obtenidas son de alta calidad. Los procedimientos fundamentales para la obtención de pasta química son dos: al sulfito ácido o bisulfito y el Kraft (alcalino). Este tipo de pastas representan el 71% de las pastas producidas a nivel mundial, 65% en los países del Mediterráneo; siendo el proceso Kraft el más utilizado (más del 90% de las pastas químicas son pastas kraft).

La elección de un proceso u otro es función de las características finales del producto que se deseen.

A continuación se explica, más en detalle, cada uno de estos procesos de obtención de pastas papeleras.



Celulosa kraft cruda.



Celulosa kraft blanqueada.

PASTAS MECÁNICAS

Como se ha indicado, la fabricación de pastas mecánicas consiste en el desfibrado de la madera mediante métodos mecánicos y posterior tratamiento de las fibras liberadas. La lignina, que une la celulosa a la hemicelulosa, no se disuelve, simplemente se ablanda, permitiendo que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. El rendimiento, expresado como proporción de la madera inicial que queda en la pasta, suele ser superior al 95% en aquellos procesos puramente mecánicos (pasta SGW) y del 80 al 95% cuando se utilizan altas temperaturas y se incorpora algún agente químico para facilitar el proceso (pastas TMP, CMP o CTMP).

Los papeles de pasta mecánica se caracterizan por la baja densidad, alta rigidez, alta opacidad, buena absorción de las tintas y, generalmente, buena imprimabilidad. La resistencia es demasiado baja para su uso en embalajes, pero la rigidez es buena en las capas interiores de cartones multicapa. La fabricación de papel prensa, papel de revista y las capas interiores de cartoncillo son las aplicaciones más importantes de este tipo de pastas.

En los últimos años la participación en la fabricación de papel de este tipo de pastas ha ido en aumento y esta tendencia continuará en el futuro debido a los altos rendimientos del proceso y a los avances tecnológicos para aumentar su pureza y resistencia mecánica.

Los procesos mecánicos se clasifican en dos grandes grupos: aquellos que parten de troncos o rollizos siendo la acción mecánica debida al efecto de una gran piedra cilíndrica o “muela” que gira a elevada velocidad (figura 4.3.1.a) o aquellos que parten de astillas y el desfibrado se produce en un refinador de discos (figura 4.3.1.b).

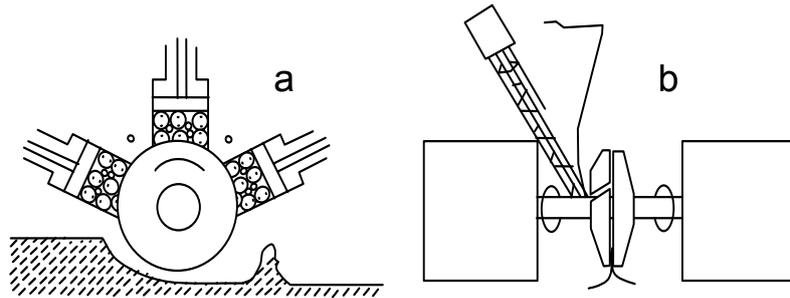


Figura 4.3.1: Tratamiento mecánico de la madera.

Las materias primas más adecuadas para la fabricación de pasta mecánica son las maderas blandas, siendo el abeto la especie más utilizada, puesto que las fibras presentan mayor longitud que las frondosas. Aunque con las distintas modificaciones para la mejora de la resistencia de las pastas mecánicas, incorporadas en los últimos años, es posible obtener también pastas mecánicas a partir de maderas duras; el número de instalaciones industriales en este caso es muy inferior.

Pasta mecánica de muela (SGW)

La pasta mecánica de muela se obtiene a partir de troncos descortezados. Se utiliza una muela cilíndrica de superficie abrasiva (cerámica, granito, etc.) que se humedece mediante rociadores y gira a elevada velocidad. Los troncos son presionados sobre la superficie y el roce de la muela produce, mediante múltiples ciclos de compresión-decompresión y con ayuda del aumento de la temperatura, el desfibrado de la madera.

El grado de desfibrado puede regularse en función de la velocidad de giro y del tipo de superficie, la presión de la madera contra el desfibrador, el caudal y temperatura del agua en los rociadores, etc. Es importante realizar el repicado y acondicionamiento de la muela periódicamente con el fin de obtener pastas de calidad adecuada.

La fricción entre la madera y la muela genera calor, lo que provoca el reblandecimiento de la lignina y favorece la separación de las fibras. Durante el desfibrado se añade agua para suavizar la fricción y arrastrar las fibras separadas, de manera que se absorbe el calor producido y se evita que la madera se queme; después se incorpora mayor cantidad de agua para formar una pasta fácilmente manejable.

Las pastas así obtenidas presentan una coloración muy intensa. Para atenuarla, se blanquean con reactivos químicos de tipo oxidante. Esta operación (comentada en el punto 4.3.4) proporciona pastas suficientemente claras, aptas para la fabricación de papel prensa o cartones, que son sus aplicaciones más corrientes.

Los papeles obtenidos mediante estas pastas presentan el gran inconveniente de su relativa baja resistencia y de la tendencia que tienen a amarillear con el paso del tiempo. Sin embargo, la blancura y la resistencia pueden aumentarse mezclándolos con pastas químicas.

La gran ventaja de este proceso de fabricación es el alto rendimiento que tiene, superior, en algunos casos, incluso al 97%.

Con el fin de mejorar el proceso se han introducido diferentes modificaciones como la presurización, obteniéndose las pastas de tipo PGW. Al aumentar la presión de los rollizos sobre las muelas se eleva más la temperatura, por encima de 100 °C, favoreciendo el proceso y obteniéndose pastas de mayor resistencia mecánica al no producirse tanta degradación de la celulosa en el proceso de desfibrado. La otra variación es la incorporación de una columna de agua a elevada temperatura dando lugar a las pastas TGW.

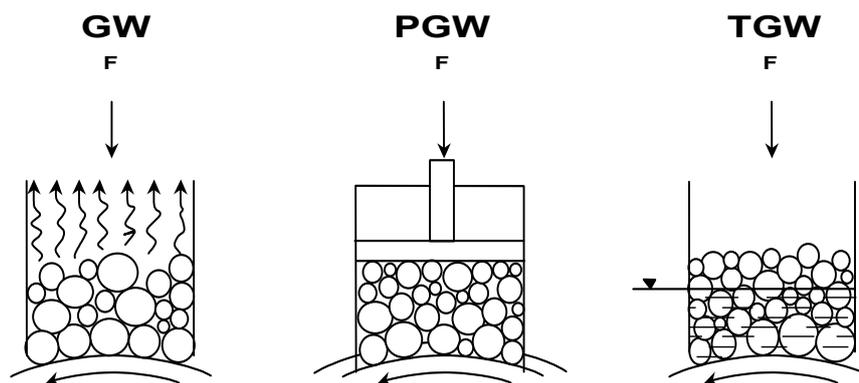


Figura 4.3.2. Procesos de obtención de pasta mecánica.

Pasta mecánica de refinados (RMP)

Con el fin de mejorar los tradicionales procesos mecánicos de muelas y aumentar la calidad de las pastas obtenidas surgieron los procesos de obtención de pastas de refinados. En este tipo de procesos la alimentación se realiza en forma de astillas, las cuales se someten a un proceso previo de lavado para la eliminación de piedras, arenas e impurezas que pudieran dañar los discos. Las astillas se disgregan por la acción mecánica de unos discos refinadores. El proceso de desfibrado se puede controlar a través de un mayor número de variables de proceso y, por tanto, se puede evitar la degradación de la celulosa durante el desfibrado, obteniéndose pastas de mayor resistencia.

El equipo principal del proceso es el refinador, del que existen numerosos diseños consistentes en platos que giran a elevada velocidad a través de los cuales pasan las astillas para su desfibrado. De los posibles diseños, prácticamente el 100% de las instalaciones utilizan refinados de discos, que pueden ser fundamentalmente de dos tipos: de disco simple o doble. Los refinadores son de gran potencia y el consumo de energía puede variar de 1.500 hasta más de 3.000 Kw/h por tonelada.

En este tipo de procesos las variables de control son más numerosas, y, por tanto, se pueden conseguir pastas de distintas calidades en función de la potencia ejercida, la separación entre discos, los caudales de alimentación, la velocidad de giro, el tipo y diseño de los discos, tipo de alimentación y de salida, etc.

El proceso supone un fuerte incremento de la temperatura y se produce vapor que, en algunos casos, se utiliza para generar energía (cogeneración).

Pasta termomecánica (TMP)

Aunque inicialmente se pensó que un precalentamiento de las astillas favorecería el proceso de desfibrado, posteriormente se descubrió que lo importante era conseguir una alta temperatura en el refinado propiamente dicho. Esto ha dado lugar al desarrollo de las pastas TMP que constituyen el grupo más importante de las pastas mecánicas en nuestros días.

El proceso comienza, en la mayoría de los casos, con un precalentamiento de las astillas con vapor a presión atmosférica, para conseguir aumentar la temperatura y el contenido en humedad de las astillas. Posteriormente se someten a un proceso de lavado con agua caliente para eliminar los contaminantes que puedan dañar a los refinados o impurificar el producto. Las astillas lavadas y calentadas se bombean como una mezcla de agua/astillas a una consistencia del 3-4% a un tornillo de drenaje, pasando a una etapa de precalentamiento (atmosférico o presurizado) alcanzándose temperaturas entre 105-120°C. Por último, las astillas se introducen en los refinados donde tiene lugar el desfibrado en una o varias etapas, en función de la instalación industrial.

Con el fin de reducir los costes energéticos, las plantas modernas tienen sistemas de recuperación de calor.

Pastas químico-mecánicas (CMP y CTMP)

Un paso más en el desarrollo de las pastas mecánicas lo constituye el incorporar un tratamiento químico de impregnación de las astillas con el fin de facilitar el proceso. Estos procesos constituyen las pastas químico-mecánicas (CMP), cuando el refino se hace a presión atmosférica o las químico-termomecánicas, si el refino está presurizado (CTMP).

La variación en el proceso consiste en incorporar una etapa de tratamiento químico en el esquema productivo. Existen varias alternativas, pero la más utilizada es incorporar una etapa de pre-tratamiento químico de las astillas previo al desfibrado para facilitar el proceso y obtener pastas de mayor resistencia mecánica. De los posibles tratamientos químicos el más utilizado consiste en la utilización de sulfito sódico para pastas frondosas y NaOH y/o sulfito sódico para pastas duras. Las dosis varían del 1 al 20% de Na₂SO₃ sobre madera seca, siendo las más utilizadas las más bajas comprendidas entre el 1 y el 3%.

En los procesos de obtención de pastas mecánicas el intenso tratamiento al que son sometidas las fibras hace que las mismas se deformen por enroscamiento, lo que impediría su utilización posterior para la fabricación de papel. Para evitar esto se les somete a una etapa de tratamiento de latencia. El proceso consiste en mantener la suspensión de fibras, a un 3% de consistencia y en agitación, en una tina de latencia a una temperatura de 70-80 °C, durante un tiempo aproximado de 20 minutos.

PASTAS QUÍMICAS

La pasta química se diferencia de otros tipos de pastas para papel en que la celulosa se separa de la madera por procedimientos químicos. Los componentes de la madera que forman su estructura, principalmente ligninas, se disuelven en los productos químicos utilizados, formando las lejías negras que se separan de la celulosa mediante etapas de lavado. La incorporación de un ciclo de recuperación de lejías hace que el proceso trabaje en ciclo cerrado y que sea económica y medioambientalmente factible.

Los procedimientos fundamentales para la obtención de pastas químicas se clasifican en dos grandes grupos:

- **Métodos alcalinos:** la pasta Kraft es el grupo más representativo de este tipo de pastas.
- **Métodos ácidos:** las pastas al sulfito sódico o bisulfito son las más representativas de esta categoría.

La importancia de las pastas químicas viene determinada por su gran capacidad de producción a nivel mundial (150 MMt) y la alta participación en el total de pastas producidas (71%), de las cuales el 97% se obtienen por el método Kraft.

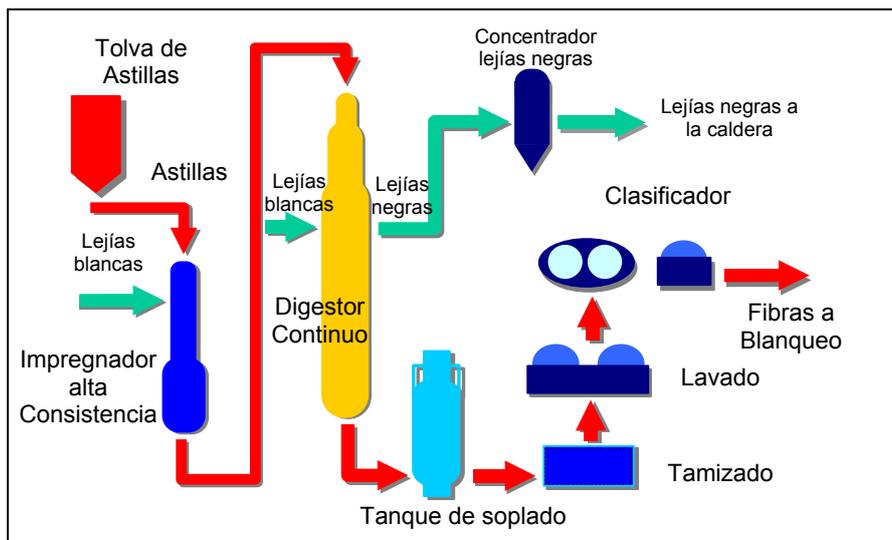


Figura 4.3.3. Diagrama de cocción de pasta química. Fuente: www.papelnet.cl

Los productos químicos activos actúan sobre la lámina media de la madera disolviendo la lignina que actúa como materia cementante entre las fibras, con lo que se consigue liberarlas de forma intacta, a diferencia del proceso mecánico en el que las fibras liberadas en forma de haces pueden estar dañadas. Siendo la principal característica de las pastas químicas su elevada resistencia mecánica. Por otra parte, al eliminarse gran parte del contenido en lignina, las cantidades residuales y grupos cromóforos se pueden eliminar mediante procesos de blanqueo obteniéndose pastas de elevado grado de blancura.

Para disolver la lignina, además de productos químicos, se emplea vapor a media presión, que eleva la temperatura, con lo que se favorece la disolución de la lignina por los productos químicos seleccionados.

El procedimiento implica la cocción de las astillas y los reactivos en disolución acuosa en un reactor (digestor) que puede funcionar por cargas o de forma continua.

En la cocción discontinua, el digestor se carga de astillas a través de una abertura superior, se añaden los reactivos químicos, y el contenido se cuece a temperatura y presión elevadas. El producto de reacción se descarga en un tanque de soplado en el cual se produce la separación de los aglomerados de fibra como consecuencia de la expansión.

En la digestión continua las astillas precocidas con vapor se introducen en el digestor a un ritmo constante. Las astillas y los reactivos se mezclan en la zona de impregnación, en la parte superior del digestor, y se van desplazando desde la zona superior de cocción a la inferior y a la zona de lavado, antes de alimentarlas neumáticamente al tanque de soplado.

Como se ha indicado, los métodos químicos se dividen en *ácidos* o *alcalinos*, según sea el pH de trabajo. Los primeros son más enérgicos, la separación de la celulosa es mejor, y se puede aplicar para fines químicos y para obtener papeles de alta calidad. Presentan el inconveniente de que no pueden aplicarse a maderas resinosas, pues a pH bajos, los fenoles y ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y coloreados que manchan la pasta. En los métodos alcalinos, por el contrario, esas sustancias se eliminan en las lejías residuales en forma de sales o fenoles solubles.

Los procesos alcalinos son los mayoritarios en el mercado porque obtienen pastas más resistentes y permiten la recuperación de los productos químicos que se emplean.

Las pastas químicas pueden ser de coníferas o frondosas, pudiendo ser crudas (sin blanquear) o también blanqueadas.

Puesto que en estos procesos se eliminan muchos de los componentes no fibrosos de la madera, los rendimientos normalmente son bajos, del 35 al 60%. En cambio las fibras se blanquean mejor y son más resistentes y de mayor calidad.

Las variables más importantes de estos procesos son la *intensidad* del tratamiento (concentración, presión y temperatura de cocción) y la *duración* del mismo. Ambas están ligadas entre sí, siendo la calidad de las fibras a obtener el factor determinante de la elección de las condiciones.

Procesos ácidos

El método al sulfito es el método que dominó la industria papelera desde finales del siglo XIX a mediados del siglo XX, si bien está limitado por los tipos de madera utilizables y por la mayor dificultad de tratamiento de las lejías residuales.

La lejía de cocción está formada por una disolución de ácido sulfuroso (H_2SO_3) e ión bisulfito (HSO_3^-), que se suele preparar in situ. Para ello se quema azufre elemental produciendo dióxido de azufre (SO_2), el cual se hace pasar a través de una torre de absorción que contiene agua y una base alcalina (CaCO_3 (proceso al sulfito original), Na_2CO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, o NH_4OH), que producen el ácido y el ión y controlan sus proporciones.

Las disoluciones empleadas para la digestión contienen un 1% de SO_2 combinado y un 4-6% libre, de manera que para una tonelada de madera se necesitan aproximadamente de 125 a 140 kg de SO_2 .

La absorción del gas se lleva a cabo por cualquiera de las técnicas de contacto sólido-gas. La más corriente consiste en torres de caliza –o dolomita- regadas con agua en contracorriente con el gas (se emplea para los bisulfitos de calcio o de magnesio).

Normalmente la pasta de sulfito se carga en digestores discontinuos revestidos anticorrosivos. Para evitar reacciones no deseadas, los digestores se calientan lentamente hasta una temperatura máxima de 110 a 145 °C, y las astillas se cuecen durante unas 6-8 horas, a una presión de 6 a 7 atm. Al aumentar la presión del digestor, el dióxido de azufre se purga y se vuelve a mezclar con el ácido de cocción. Cuando quedan alrededor de unas 1,5 horas de cocción, se interrumpe la calefacción y se disminuye la presión extrayendo gas y vapor de agua. La pasta se descarga en un tanque, se lava y se tamiza.

La mezcla usada en la digestión, llamada lejía roja, intercambia calor con la alimentación para recuperar energía, y posteriormente son recuperados los productos químicos en todos los procedimientos menos en el que tiene como base bisulfito sódico.

Para la pasta al sulfito amónico, la lejía roja se deja enfriar primero para eliminar el SO_2 residual, se concentra y se quema. El gas que se genera contiene SO_2 , por lo que se enfría, y se hace pasar a través de una torre de absorción en la que se combina con una disolución amoniacal para regenerar la lejía de la cocción. Finalmente, la lejía recuperada se filtra, se refuerza con SO_2 y se almacena. El amoníaco no se puede recuperar puesto que se transforma en nitrógeno y agua en la caldera de recuperación.

En la pasta al sulfito de magnesio, al quemar la lejía concentrada, se obtiene óxido de magnesio (MgO) y SO_2 , que pueden ser recuperados fácilmente. Se recoge bastante MgO de la depuración de los gases de combustión y las cenizas de MgO se dispersan en agua para producir hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). El SO_2 se enfría y se combina con el hidróxido en una torre de absorción para reconstituir la lejía de cocción. El bisulfito de magnesio ($\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$) se refuerza con SO_2 y se almacena. En este caso es posible una recuperación del 80-90% de los reactivos.

La recuperación de la lejía residual de cocción a base de sulfito sódico es más complicada. Se concentra en evaporadores, se incinera la lejía de cocción concentrada y aproximadamente el 50% del azufre se recupera por absorción como SO_2 . El resto del azufre y sodio se recoge del fondo de la caldera de recuperación como escoria de Na_2S y Na_2CO_3 . Esta se disuelve para producir lejía verde, y en varios pasos se obtiene bisulfito sódico (NaHSO_3). El NaHSO_3 se refuerza y se almacena. Este proceso de recuperación produce algunos gases sulfurados, en particular sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Se debe realizar una recuperación de la lejía de cocción puesto que su acidez, su elevada DBO (a causa de su contenido en azúcares procedentes de la hidrólisis de las celulosas), y el carácter tensoactivo de los lignosulfonatos, que forman espumas, hacen que no se puedan verter estos líquidos residuales sin ser previamente tratados.

El proceso al sulfito ha quedado en la actualidad desplazado por el proceso Kraft por los siguientes motivos fundamentales:

- La contaminación potencial en este tipo de procesos es muy superior al proceso Kraft debido a los altos contenidos en DBO de los efluentes y a las pérdidas de SO₂ como emisiones a la atmósfera.
- El proceso al sulfito no se puede aplicar a todo tipo de pastas.
- La aparición de nuevas secuencias de blanqueo (y especialmente la utilización de dióxido de cloro) hace posible un blanqueo muy eficaz de la pasta Kraft obteniéndose pastas de mayor resistencia.

Procesos Alcalinos

Los dos métodos más utilizados son: el método a la sosa y el método al sulfato, o también llamado Kraft, así como variantes de los mismos. Como ya se ha indicado, el más importante es el Kraft y es el proceso de obtención de la mayoría de pastas químicas en la actualidad.

Método a la sosa

Este método, especialmente indicado para madera de frondosas, es uno de los métodos más antiguos. Produce fibras fácilmente blanqueables.

La lejía de cocción consiste en una disolución de sosa cáustica al 7-8% que a 170 °C disuelve la lignina (por formación de lignofenolatos sódicos) de la madera, y algo de celulosa (por hidrólisis), dejando, además de la pasta, un líquido oscuro denominado "lejía negra", que contiene productos de degradación de lignina y celulosa, sales sódicas de ácidos orgánicos complejos, lignofenolatos y el exceso de sosa.

La recuperación de las lejías negras es de especial importancia en esta industria. Estas lejías, mezcladas con las aguas del primer lavado de la pasta, se someten a una evaporación previa, hasta una concentración del 50 al 60% de sólidos. El líquido espeso (jarabe) se quema en un horno rotatorio, y el calor liberado en la combustión de la materia orgánica mantiene el régimen de combustión y produce el calor necesario para la evaporación previa.

La ceniza y escoria que sale del horno contiene el sodio en estado de carbonato. Estas cenizas se disuelven en agua, y tras adicionar carbonato sódico (producto más barato que la sosa) para compensar pérdidas (10% aproximadamente), se caustifica la disolución, que queda así apta para una nueva cocción.

A continuación se presenta el esquema del proceso del método a la sosa:

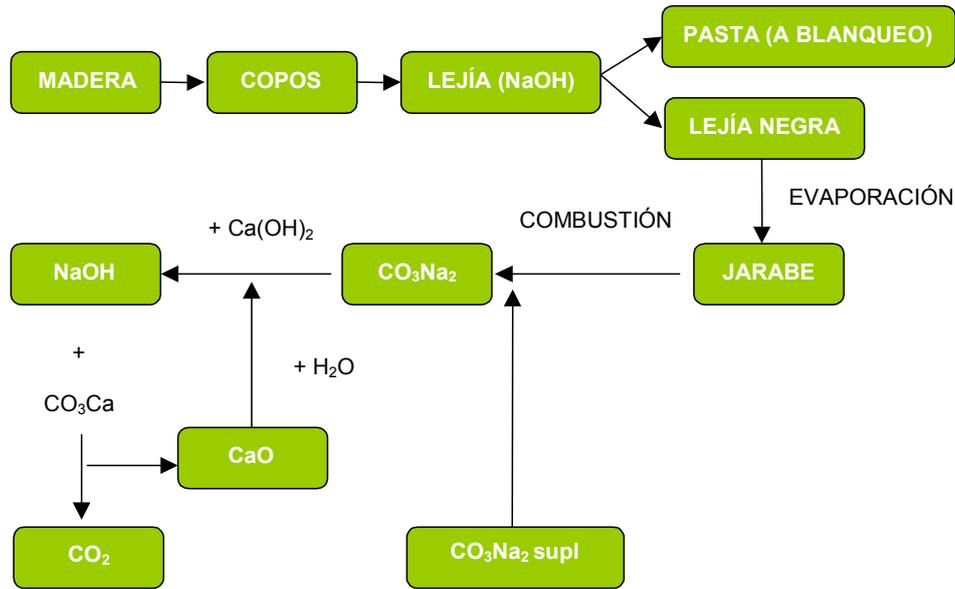


Figura 4.3.4. Esquema de proceso de fabricación de pasta según el método a la sosa.

Fuente: Introducción a la Química Industrial. Segunda Edición.

Método al sulfato o Kraft

Entre los procesos alcalinos el proceso al sulfato, también llamado “Kraft”, es el de mayor importancia puesto que produce pastas más resistentes que el resto de los procesos (kraft en alemán significa “resistencia”).

El agente químico de pulpeo o lejía de cocción, llamada también lejía blanca, consiste en una mezcla de hidróxido sódico (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S).

Como reactivo se emplea Na₂SO₄, más barato que el Na₂CO₃, para compensar el reactivo gastado. Por reacción con el carbono presente en los productos del horno, el Na₂SO₄, se reduce a Na₂S, por lo que tras ser caustificada, la disolución contiene NaOH y Na₂S, reactivos solubilizantes de la lignina.

Tabla 4.3.1. Composición de la lejía blanca usado para el pulpeo Kraft

Componente	Función
NaOH	Agente de pulpeo primario
Na ₂ S	Acelerador, incrementa el rendimiento en celulosa y hemicelulosa, acción protectora
Na ₂ CO ₃	Presencia como consecuencia del sistema químico de recuperación
Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ S ₂ O ₃	Trazas

Las lejías de esta composición actúan mejor que la sosa, puesto que constituyen una especie de disolución tampón en lo que a contenido de OH⁻ se refiere, ya que conforme se consumen los OH⁻ en el ataque de la madera se producen más al liberarse NaOH por la hidrólisis del sulfuro sódico:



Figura 4.3.5. Reacción de hidrólisis del sulfuro sódico.

Condiciones del proceso: 7-10 atm, 180 °C, 0'5-2 horas, según la temperatura, la proporción de álcali y de sulfuro sódico

La deslignificación es más rápida en este método que en el del sulfito, y se produce tan sólo una pequeña degradación de la celulosa. La hemicelulosa es retenida en gran parte, actuando como agente de enlace, lo que proporciona una gran resistencia a la fibra.

El proceso de cocción de pasta Kraft se puede llevar a cabo tanto en digestores continuos

(tipo kamyr) como en digestores discontinuos (batch).

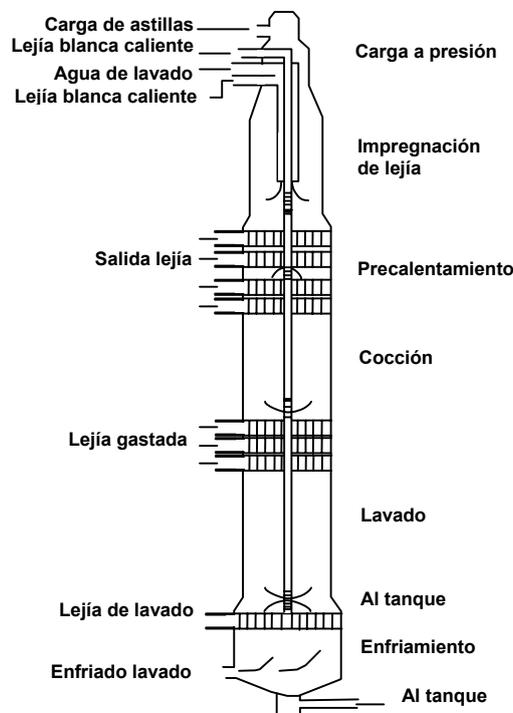


Figura 4.3.6. Digestor Kamyr. Fuente: Química Industrial.

En el caso de los digestores discontinuos, las astillas de madera y la lejía blanca se cargan en el digestor donde la cocción se lleva a cabo a temperatura y presión determinadas, en función del grado de deslignificación deseado. Cuando se obtiene un valor residual determinado de lignina (expresado como número kappa), el contenido se vierte a un tanque de descarga y el ciclo de cocción se repite con una nueva alimentación. La cantidad de lignina que permanece en la pasta puede ser determinada, aproximadamente, multiplicando el número kappa por el factor 0,165 (Uhlmann, 1991), así, por ejemplo, un número kappa de 30 implica un contenido en lignina residual de 4,95%.

Cuando la cocción se lleva a cabo en digestores continuos, el contenido resultante de lignina lo define la carga de madera/reactivo químico, el tiempo de retención, así como la temperatura de cocción. En este caso las astillas son precalentadas con vapor, previamente a su entrada al digestor, de manera que se elimina el aire, el cual interfiere en los procesos de impregnación. Tras entrar en el digestor, las astillas son impregnadas con la lejía de cocción a una temperatura de 155-175 °C. El tiempo de

cocción, en condiciones de máxima temperatura, se encuentra alrededor de 1-2 horas. En procesos de cocción convencionales, la deslignificación de la madera de coníferas puede llegar a un número kappa de 30-35, permitiendo una resistencia de la pasta aceptable. En el caso de maderas de frondosas el número kappa puede ser de 14-22.

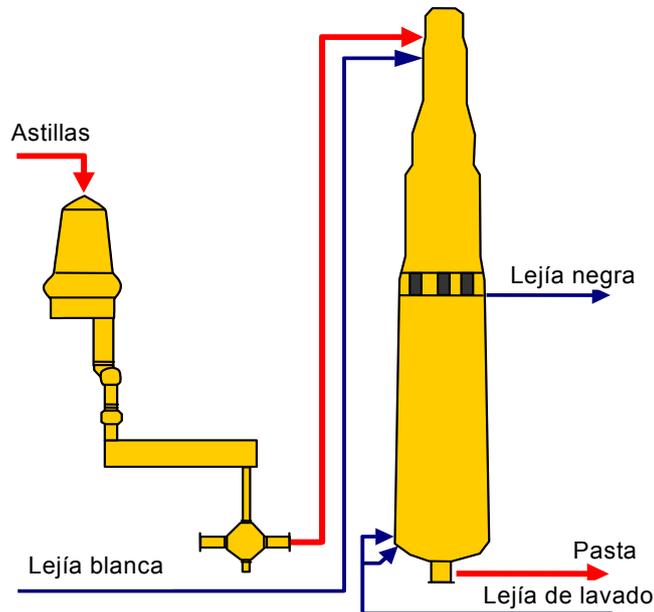


Figura 4.3.7. Digestor continuo proceso Kraft. Fuente: BREF.

Tras la cocción, la pasta se tamiza para separar los trozos de madera que hayan quedado sin digerir, se lava para separar la mezcla de cocción utilizada (lejías negras) y se envía bien al proceso de blanqueo o a la máquina de producción de pasta. La madera sin digerir se devuelve al digestor o a la caldera para quemarla y producir energía.

Una de las ventajas importantes del método Kraft es la recuperación de sus lejías negras, que no sólo permite la recuperación de los productos químicos, sino que, además, aprovecha el poder calorífico de las mismas para generar el vapor necesario para el proceso.

El sistema de recuperación en el proceso kraft presenta tres funciones:

- Recuperación de los reactivos químicos.
- Destrucción de la materia orgánica disuelta y recuperación de energía como vapor o energía eléctrica.
- Recuperación de subproductos orgánicos aprovechables.

La lejía negra recogida del digestor contiene sustancias orgánicas disueltas cuya composición química exacta depende de las características de la especie de la madera y de las condiciones de la cocción. Normalmente la lejía negra presenta un contenido en sólidos disueltos del 14-18%, que debe concentrarse considerablemente previamente a su combustión. Para ello la lejía negra se concentra mediante una evaporación multiefecto hacia un contenido en sólidos de 65-75%, pero a medida que el contenido en sólidos se incrementa se debe tener en cuenta que la viscosidad de la lejía negra también se incrementa, y puede ser demasiado alta para ser bombeada. A presión atmosférica el límite se encuentra alrededor de 72-74% de sólidos. La lejía negra puede ser concentrada hasta un contenido en sólidos del 80% en superconcentradores, que operan a mayor presión y temperatura.

Los condensados procedentes de la evaporación de las lejías negras presentan un grado de contaminación diferente en función de su origen, típicamente contienen compuestos de azufre total reducido, metanol y otros componentes volátiles. Antes de su utilización como agua en el proceso o

su vertido, se efectúa una desorción o “stripping”. Los vapores de esta operación se incorporan en la caldera de cortezas, o de lejía, para su eliminación.

La lejía negra concentrada, con adición de sulfato de sodio (Na_2SO_4), es introducida en la caldera de recuperación para su posterior combustión, para recuperar el sodio y el azufre, así como obtener energía procedente de los gases de combustión.

Un incremento en el contenido de sólidos en las lejías negras concentradas de 65-70% al 80-85% provoca un cambio en los balances de materia y energía, así como en las condiciones de combustión de la caldera de recuperación. Cuanta menos agua entra en la caldera menor flujo de gases de combustión se obtiene, y cuanto mayor es el contenido en sólidos de la lejía negra, mayor temperatura de combustión se obtiene, lo cual hace que mayor cantidad de sodio sea vaporizado, que reacciona con el azufre y queda retenido en las cenizas. Se reducen así las emisiones de azufre procedentes de la caldera.

La materia fundida procedente de la caldera de recuperación se disuelve en agua o lejía blanca débil para producir lejía verde, compuesta principalmente de sulfuro de sodio (Na_2S) y carbonato sódico (Na_2CO_3). La lejía verde se clarifica y caustifica con hidróxido de calcio convirtiéndose el carbonato de sodio en hidróxido de sodio para producir lejías blancas para la digestión.



Figura 4.3.8. Caustificación.

Las cenizas y otras impurezas son eliminadas del proceso por decantación de la lejía verde. Los lodos de carbonato cálcico procedentes del proceso de caustificación se separan por filtración de las lejías blancas, se lavan y se calcinan en un horno de cal para regenerar la cal viva. El óxido de calcio se hace reaccionar con agua y se obtiene hidróxido de calcio, que se emplea en el proceso de caustificación. La calcinación de los lodos se efectúa en un horno rotatorio, con aporte de combustible (coque, carbón, fuel o gas).

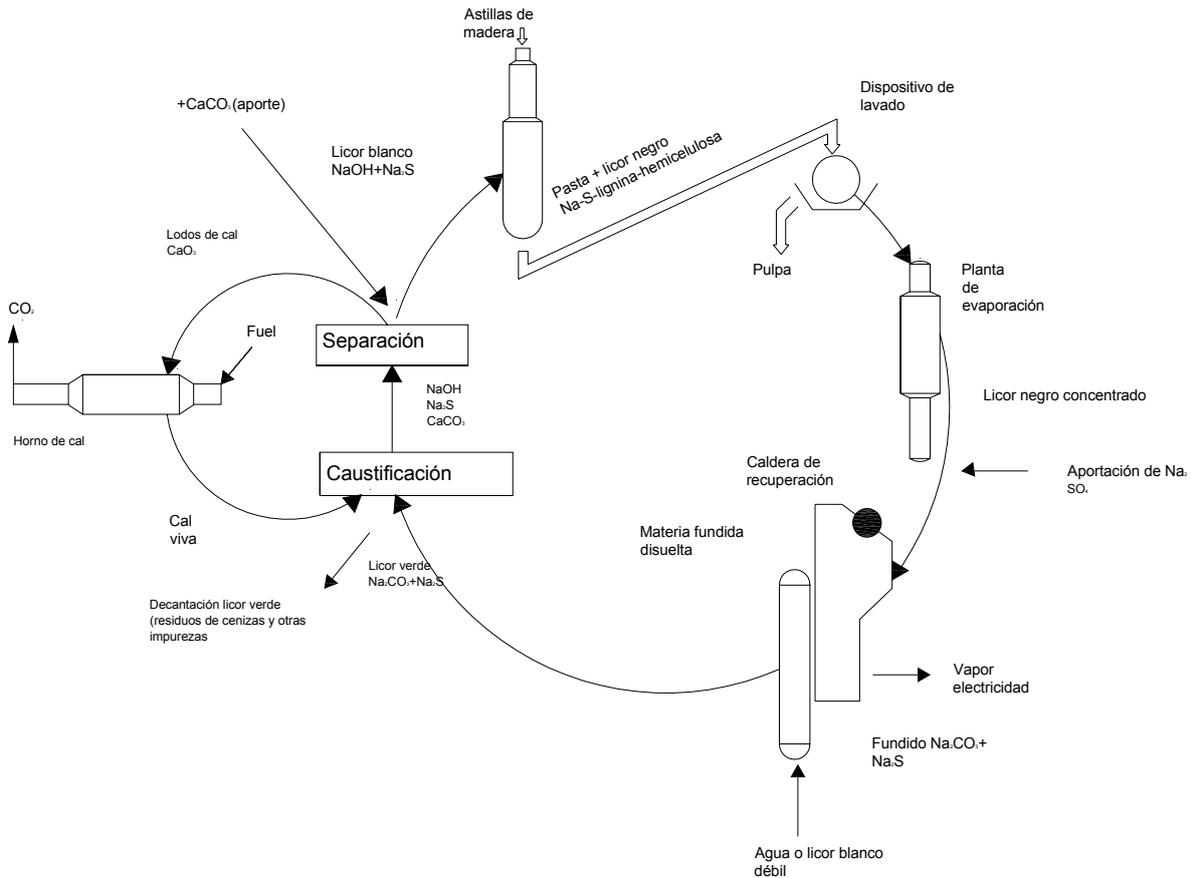


Figura 4.3.9. Proceso Kraft.

El grado de eliminación de la lignina (deslignificación) de cada cocción es una variable que se predetermina en función de la especie de madera empleada y del destino final de la pasta fabricada, que puede ser para blanquear o no.

Durante la cocción kraft se generan diversos gases y vapores malolientes derivados del azufre (sulfuro de hidrógeno (H_2S), metil mercaptano (CH_3SH), dimetilmercaptano (CH_3SCH_3) y dimetildisulfuro (CH_3SSCH_3)) que es preciso recoger y eliminar en instalaciones auxiliares adecuadas para evitar su emisión a la atmósfera (se trata en un apartado especial).

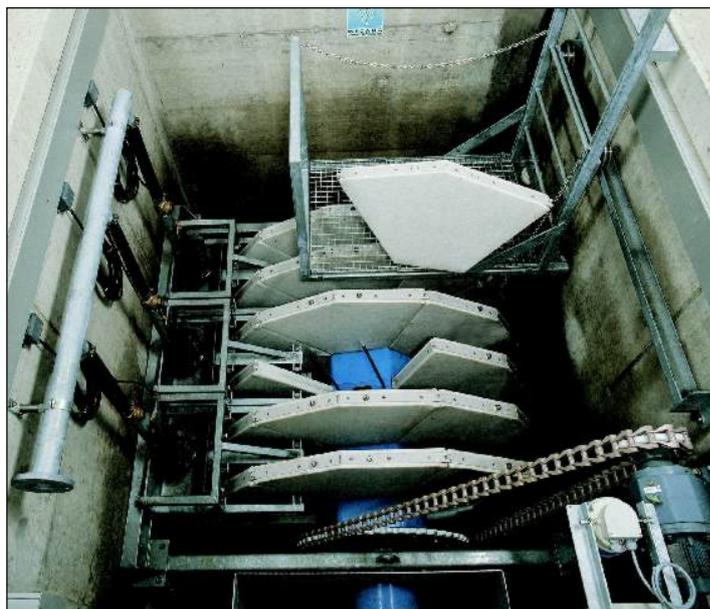
De entre las ventajas que presenta el proceso Kraft se destaca:

- Es posible la utilización de cualquier tipo de madera, lo que proporciona una gran flexibilidad al suministro de madera.
- En las astillas puede tolerarse una cantidad relativa de corteza.
- Los tiempos de cocción son cortos.
- La pasta presenta una buena resistencia.
- Es posible la recuperación de las lejías negras.
- Se logran productos secundarios aprovechables.

Lavado de la pasta cruda

Al final de la cocción, la pasta se presenta como una masa oscura formada por la pasta propiamente dicha y un líquido o lejía residual de cocción también de color oscuro, cuyos componentes principales son: agua, productos químicos residuales de cocción y materias orgánicas disueltas de la madera, entre las que se encuentra la lignina.

El proceso de lavado consiste en separar con agua la mayor parte de los productos químicos residuales y materia orgánica disuelta durante la cocción de la madera, para enviarlos al ciclo de recuperación de productos químicos de la fábrica. Por tanto, el proceso de lavado de la pasta tiene un doble objetivo: eliminar los restos de reactivos de las pastas, antes de su incorporación a otras etapas de proceso, como por ejemplo el blanqueo, y la recuperación máxima de reactivos en el ciclo de recuperación de lejías negras.



El lavado se lleva a cabo en varias etapas, pudiendo emplearse diferentes equipos: filtros rotatorios, que son de los más utilizados; difusores y/o prensas de lavado. En los filtros rotatorios las fibras de pasta depositadas en la parte exterior del tambor forman una torta sobre la que se pulverizan sucesivas cortinas de agua caliente por medio de regaderas instaladas a lo largo del tambor. Los productos químicos de la pasta son arrastrados con el agua de lavado en su recorrido atravesando la torta de pasta hacia el interior del tambor, lo que se consigue con la ayuda del vacío ejercido desde dentro o también por presión de la cámara de aire situada encima del tambor. El agua que fluye al interior del tambor y arrastra los productos químicos,

llamada lejía débil, circula en contracorriente al avance de la pasta, evacuándose finalmente a los tanques de almacenamiento para su envío a la planta de recuperación de lejías negras.

Los procesos llevados a cabo mediante digestores continuos, además del lavado adicional con filtros rotatorios, utilizan una zona del digestor como zona de lavado. Hoy en día el lavado en los procesos discontinuos, al igual que en los continuos, comienza prácticamente en los digestores, desplazando la lejía negra caliente con lejía fría de lavado.

Las prensas de lavado son especialmente eficaces para eliminar sustancias orgánicas disueltas. Esta es una de las razones por lo que este tipo de prensas de lavado cada vez se utilizan más, especialmente en las últimas etapas de lavado previa al blanqueo, para evitar el arrastre de dichas sustancias con la pasta.

Un lavado eficiente implica la reducción de transporte de lejía negra en la pasta cruda, resultando en una disminución del consumo de agentes químicos de blanqueo y reduciendo su vertido.

Deslignificación con oxígeno

Las plantas de celulosa modernas, que producen pastas crudas con destino al blanqueo, cuentan en esta etapa con un proceso adicional de deslignificación con oxígeno; que consiste en aplicar altas dosis de oxígeno a la pasta cruda para producir la oxidación de la lignina, previo a las etapas de blanqueo. Con ello se reduce sustancialmente el consumo de reactivos químicos en las etapas de blanqueo.

Esta etapa intermedia emplea como agente activo el oxígeno en medio alcalino, en un reactor presurizado y a una temperatura alrededor de los 100°C, al que se añaden pequeñas cantidades de sulfato de magnesio ($MgSO_4$) para preservar la calidad y resistencia de la pasta producida.

La deslignificación con oxígeno se puede realizar en una o en dos etapas. El intervalo normal de deslignificación en las fábricas de pasta para blanqueo oscila del 30% al 50%, en sistemas de una etapa, y hasta el 70% en sistemas de dos etapas.

Tras una cocción convencional y una deslignificación con oxígeno, el número kappa es de 18-22 para maderas coníferas, y de 13-15 para maderas frondosas, sin una deslignificación prolongada. Dependiendo de la especie de madera, la deslignificación con oxígeno, junto a una cocción prolongada, puede proporcionar un número kappa alrededor de 8-12.

Al final de la deslignificación la pasta se somete a un proceso de lavado para eliminar la materia orgánica y los productos químicos contenidos en la misma antes de enviarla al proceso de blanqueo.

Entre las ventajas que presenta la utilización de este proceso se encuentran:

- Deslignificación adicional tras la cocción con mayor selectividad que la cocción prolongada.
- Reducción de emisiones de la planta de blanqueo.
- Reducción del consumo de reactivos de blanqueo.
- Incremento del grado de blancura en una secuencia de blanqueo dada.
- Menor contenido de incocidos y menor contenido de extractivos, manteniendo la resistencia de la pasta de papel.

4.3.3. Procesos de tamizado y depuración de pastas

Cualquiera que sea su origen, la pasta cruda inevitablemente contiene compuestos sólidos indeseables que se eliminan mediante operaciones de tamizado y depuración. Entre los compuestos indeseados se encuentran los nudos, los haces de fibras o incodidos, cortezas, arenas, piedras, carbón y cenizas, extractivos, metales, plásticos, etc. Dichos compuestos pueden ocasionar daños en los equipos o ocasionar problemas de calidad en el producto final por lo que deben eliminarse del proceso. Todos estos contaminantes se eliminan del proceso mediante la utilización de tamices, para el caso de los contaminantes de gran tamaño, y mediante depuradores para eliminar aquellos contaminantes que tienen diferente densidad que la celulosa (menor, como es el caso de los plásticos o mayor como es el caso de las arenas).

El objetivo general de ambas operaciones es eliminar la mayor cantidad de contaminantes posible de la suspensión de pasta pero con el mínimo de rechazos posibles. Los rechazos, en función de su naturaleza, se reintroducen de nuevo al proceso o se gestionan como residuos.

El principio de funcionamiento de los tamices consiste en hacer pasar la suspensión de pasta a través de un tamiz de agujeros o ranuras que tenga el tamaño de paso suficiente para dejar pasar la celulosa y retener aquellos contaminantes de mayor tamaño. Con el fin de optimizar el sistema existen distintos tipos y diseños y se trabaja en una batería de equipos que normalmente operan en cascada. Los más utilizados en la actualidad son los tamices a presión y los centrifugos.

Para la depuración se utilizan fuerzas gravitacionales en hidrociclones o depuradores centrifugos que normalmente operan a baja consistencia (0,3-1,5%). Una instalación normalmente consta de una batería de ciclones en cascada con diámetros entre 50 y 300 mm que pueden tratar caudales de 1 a 10 L/s.

4.3.4. Blanqueo

Para producir pastas de alta calidad con elevados grados de blancura es necesario utilizar métodos de blanqueo que continúen la deslignificación de la pasta iniciada en la cocción en las primeras etapas de blanqueo y agentes que eliminen el color residual en las últimas. El blanqueo se consigue eliminando los compuestos que son capaces de adsorber luz visible o reduciendo su capacidad de adsorción de la luz.

El blanqueo total de una pasta se realiza en sucesivas etapas, utilizando diferentes productos químicos y condiciones de concentración, pH, temperatura, tiempo de retención, etc., diferentes en cada etapa pero siempre teniendo en cuenta el compromiso entre el aumento del grado de blancura y la pérdida de propiedades mecánicas debido a la degradación de las fibras de celulosa.

El proceso de blanqueo implica, necesariamente, una reducción de rendimiento, por cuanto se elimina una parte importante de la lignina que aún permanece en la pasta cruda y, además, una parte de las fibras de celulosa se degrada debido a los agentes químicos que intervienen en el proceso. Normalmente, en todo el proceso de blanqueo se pierde entre el 5 y el 9% de la pasta, para alcanzar grados de blancura ISO de 87-90.

La blancura de la pasta se mide por su capacidad para reflejar la luz monocromática en comparación con un patrón conocido (valor 8 al negro del carbón y 100 al óxido de magnesio puro). Mientras que una pasta cruda presenta una blancura de aproximadamente 30° ISO, la pasta blanqueada presenta unos niveles de 88° ISO a 91° ISO. Las pastas al sulfito pueden dar valores tan altos como 94° ISO, en el caso de que estén blanqueadas, y la pasta kraft cruda tan bajos como 15° ISO.

La secuencia de blanqueo utilizada depende del tipo de pasta:

- **Blanqueo de pasta mecánica o químico-mecánica:** Como estas pastas contienen casi la misma cantidad de lignina que la madera original (blancura=50-60° ISO), el tratamiento sólo eleva la blancura en 10-12 puntos, para no solubilizar demasiada lignina. La lignina residual resta blancura a los productos, que oscurecen con el tiempo.
- **Blanqueo de pasta química:** En este caso es inevitable cierta solubilización parcial, con la consiguiente pérdida de rendimiento.

Como se ha indicado, el blanqueo se realiza en una secuencia de varias etapas utilizando productos químicos y condiciones diferentes en cada etapa. Los tratamientos químicos más habituales y sus denominaciones abreviadas se enumeran a continuación:

Tabla 4.3.2. Agentes de blanqueo

Agente de blanqueo	Reacción
Cloración (C)	<p>Reacción con cloro elemental en medio ácido. Al combinarse con la lignina, forma los compuestos clorados, que son posteriormente solubles en agua.</p> <p>Su utilización está restringida en muchos países.</p>
Extracción alcalina (E)	<p>Disolución de los productos de reacción de NaOH. Convierte los compuestos clorados en sustancias solubles. Esta etapa suele acompañarse con químicos como el oxígeno y/o peróxido de oxígeno. En tal caso, la etapa se representa como Eo/Eop.</p>
Hipoclorito (H)	<p>Reacción con hipoclorito en solución alcalina.</p> <p>El hipoclorito es un verdadero agente de blanqueo puesto que destruye determinados grupos cromóforos de la lignina.</p> <p>Ha tenido una aplicación limitada en pastas de alto rendimiento porque tras el ataque de los grupos cromóforos, disuelve la lignina y, desafortunadamente, también ataca a la celulosa.</p> <p>Para asegurar que no se destruya la celulosa se debe tener un óptimo control del pH. Normalmente se adiciona un exceso de sosa cáustica para asegurar que el pH final sea mayor que 9.</p> <p>Se está erradicando su uso de los procesos de blanqueo, debido a la generación de cloroformo y a su bajo poder oxidante.</p>
Dióxido de cloro (D)	<p>Reacción con dióxido de cloro en medio ácido. Su acción es similar al cloro, pero su efecto sobre las fibras es menos dañino, y desde el punto de vista ambiental genera menos residuos, por cuanto 1 kg de dióxido de cloro equivale en poder oxidante a 2,63 kg de cloro.</p>
Peróxido (P)	<p>Reacción con peróxidos en medio alcalino. Se usa como una etapa adicional de blanqueo, o para reforzar la etapa E de extracción.</p> <p>Los peróxidos se utilizan en blanqueo de pastas químicas y de pastas de alto rendimiento. Cuando se aplica bajo condiciones relativamente suaves (35-55 °C) el peróxido es un agente de blanqueo efectivo que mejora la blancura de las pastas mecánicas y otras altamente lignificadas preservando la lignina sin pérdidas significativas de rendimiento.</p> <p>El pH influye mucho en este proceso por lo que para obtener mejores resultados se debe tamponar a pH 10,5. La concentración de iones perhidroxilo activos se incrementa con el pH según la reacción: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HOO}^- + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>A pH superiores a 10,5 se producen reacciones competitivas indeseables que disminuyen la acción de blanqueo.</p> <p>El pH se controla por adición de hidróxido sódico y silicato sódico (actúa de tampón y estabilizador en el sistema de blanqueo con peróxido), también se utiliza sulfato magnésico que actúa como estabilizador.</p> <p>El silicato actúa inactivando concentraciones de contaminantes metálicos.</p>
Oxígeno (O)	<p>Reacción con oxígeno elemental a alta presión y dióxido de cloro. Es usado tanto en la etapa de deslignificación como para reforzar la etapa E de extracción. Su poder oxidante es 4.4 veces el del cloro.</p>
Ozono (Z)	<p>Reacción con ozono en medio ácido.</p> <p>El ozono O₃ es caro pero ofrece ventajas medioambientales al eliminar los compuestos clorados.</p>
D _C ó C _D	<p>Mezclas de cloro y dióxido de cloro.</p> <p>Las mezclas de cloro elemental están restringidas en muchos países.</p>

A continuación se presentan las condiciones de empleo de dichos agentes blanqueantes:

Tabla 4.3.3. Agentes de blanqueo y condiciones para su empleo

Agente de blanqueo	Concentración del agente (%)	pH	Consistencia (%)*	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
Cl ₂ (C)	2,5-8	2	3	20-60	0,5-1,5
Hidróxido Sódico (NaOH) (E)	1,5-4,2	11	10-12	< 80	1-2
Hipoclorito Sódico (NaOCl) (H)	1-2	9	10-12	30-50	0,5-3
Dióxido de cloro (ClO ₂) (D)	~1	0-6	10-12	60-75	2-5
Peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂) (P)	0,25	10,5	12	35-80	4
Oxígeno (O ₂) (O)	1,2-1,9	7-8	25-33	90-130	0,3-1
Ozono (O ₃) (Z)	0,5-3,5	2-3	35-55	20-40	< 0,1
Dióxido de azufre (SO ₂) (A)	4-6	1,8-5	1,5	30-50	0,25
Ditiosulfato sódico (NaS ₂ O ₄) (Y)	1-2	5,5-8	4-8	60-65	1-2

*Concentración de fibra en solución acuosa. Fuente: Industria de papel y de la pasta de papel. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

La existencia de muchas secuencias de blanqueo distintas conlleva el establecer una normativa en la nomenclatura.

- Una secuencia de “blanqueo total” se puede conseguir en 5-6 etapas con secuencias CEDED (Cloración, extracción alcalina, dióxido de cloro, extracción alcalina y dióxido de cloro); CEHDED; OCEDED
- Cuando se utilizan dos o más agentes de blanqueo como mezcla o simultáneamente el de mayor proporción va primero y se engloban entre paréntesis: (C+D)EDED cloro+dióxido (el cloro en mayor proporción, extracción alcalina, etc).
- Cuando se añaden dos reactivos secuencialmente se muestran en orden y entre paréntesis (DC)EDED
- Si se quiere expresar la relación entre ellos se indica (D70C30): adición secuencial de 70% de dióxido de cloro y 30% de cloro.

Para muchas calidades de papel, niveles de blanqueo inferiores, se pueden utilizar secuencias de blanqueo cortas, las más comunes son: CED, DED, OCED, CEHH, CEHD o CEHP.

La tendencia mundial de las secuencias de blanqueo, a partir de los años 90, ha sido el blanqueo libre de cloro elemental (ECF) y el blanqueo totalmente libre de cloro elemental (TCF). No obstante existen países que todavía no utilizan esta secuencia de blanqueo. En general, la evolución de las secuencias de blanqueo más utilizadas ha sido:

- Hasta los años 60: CEHDED y CEDED
- A partir de los 70: (D+C)(E+O)DED y O(D+C)(E+O)D.
- A partir de los 90: ECF, TCF

Históricamente, la secuencia de blanqueo más comunmente utilizada se basaba en las cinco etapas del procedimiento CEDED, que emplea cloro gas en una primera etapa de tratamiento ácido, seguido de una fase de extracción alcalina con sosa cáustica y a continuación viene una tercera fase de tratamiento ácido con dióxido de cloro, a la que puede suceder una cuarta etapa de extracción y una quinta de dióxido, hasta completar las cinco etapas.

No obstante, a causa de los condicionantes ambientales referentes a las sustancias organocloradas en los vertidos de las fábricas de pasta de papel, se emplea cada vez menos el Cl_2 y se sustituye por dióxido de cloro (ClO_2) (C_DEDED), utilizándose un tratamiento previo con oxígeno (O_2) durante la primera extracción alcalina ($\text{C}_D\text{E}_0\text{DED}$). El blanqueo tradicional con cloro se emplea cada vez menos debido a su gran poder contaminante al formar compuestos organoclorados (AOX). En 1986 los procesos de producción de pasta blanqueada se identificaron como uno de los contribuidores a las emisiones de dioxinas y dibenzofuranos encontrándose que la cloración era el principal responsable de estos compuestos de ahí la sustitución del cloro por dióxido de cloro y la obtención de pastas sin cloro elemental, pastas **ECF** (**E**lemental **C**hlorine **F**ree) y posteriormente pastas totalmente libres de cloro, pastas **TCF** (**T**otally **C**hlorine **F**ree). La tendencia actual mundial apunta a la completa sustitución del cloro elemental por ClO_2 (pastas ECF) o a la eliminación de ambos (pastas TCF).

El blanqueo de pastas TCF sustituye cualquier componente clorado por otros productos como el ozono, el peróxido de hidrógeno o una combinación de ambos. De este modo se han desarrollado nuevas secuencias de blanqueo sin cloro que utilizan enzimas, O_2 , ozono (O_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), perácidos y agentes quelantes (Q), como el ácido etilen-diamino tetracético (EDTA). Ejemplos de estas secuencias son: OAZQP, OQPZP, donde Q=Quelación. Puesto que estos nuevos procesos eliminan las fases ácidas del blanqueo, se debe añadir un lavado ácido para permitir la eliminación de los metales presentes en la pasta de celulosa.

Las pastas ECF permiten el blanqueo de pastas con mayores números kappa. El blanqueo TCF requiere que la pasta a blanquear presente números kappa bajos (10-12) para alcanzar blancuras aceptables con buenas propiedades de resistencia, debido a la degradación de las fibras durante el blanqueo; de esta manera se pueden conseguir blancuras de 89° ISO sin pérdida de rendimiento. En las pastas TCF permanece mayor cantidad de lignina residual que en las pastas ECF. Sin embargo se pueden conseguir pastas TCF con blancuras iguales a las pastas ECF si bien el coste es mas elevado.

La gran mayoría de las fabricas utilizan torres de flujo ascendente para suministrar el tiempo de retención necesario para las reacciones de blanqueo seguido de lavadores de filtros rotativos de discos para eliminar los productos químicos residuales entre las distintas etapas. Con ello todas las etapas de blanqueo pueden actuar simultáneamente puesto que la pasta rebosa por la parte superior de la torre a la misma velocidad con que es alimentada por la parte inferior. Por consiguiente la alimentación de la primera torre establece automáticamente la velocidad de la pasta de todas las torres subsiguientes.

La recuperación y/o tratamiento de los filtrados de las distintas etapas de blanqueo constituye el principal objetivo medioambiental de estos procesos.

4.3.5. Pastas a partir de papel recuperado

El uso de papel recuperado como materia prima supone un importante ahorro de recursos naturales (madera, agua y energía), ya que su proceso de fabricación requiere el uso de menos sustancias químicas que el papel fabricado a partir de fibras virgen.

El desarrollo del uso de las fibras recicladas en la industria del papel ha aumentado exponencialmente en la segunda mitad del siglo XX, convirtiéndose en una materia prima indispensable para el desarrollo sostenible.

Al fomentar el uso de fibra recuperada también se favorece la recuperación de residuos y se evita que miles de toneladas de residuos de papel acaben destruidas en vertederos e incineradoras.

Mediante combinación de procesos químicos y mecánicos es posible obtener fibras recicladas para la producción de papel y cartón. Estos procesos usan diferentes calidades de papel recuperado que contienen fibras químicas o mecánicas, o a menudo una mezcla indefinida de ambas. Algunas calidades de papel y cartón pueden fabricarse a partir de fibra reciclada exclusivamente.

La siguiente figura muestra un ejemplo del efecto en ahorro de materias primas, disminución de los residuos generados y ocupación de espacio en el vertedero que supone la fabricación de papel a partir de fibra reciclada procedente de papel recuperado:

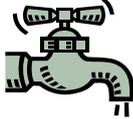
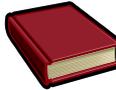
Para fabricar una tonelada de papel	Materia prima	Consumo de agua	Consumo de energía		Generación de residuos
	Kg m ³ madera árboles	litros	Kw/h	Tep	Kg
Papel de fibra virgen, pasta química	 3,5 m ³ 14 árboles 2.300 kg	 15 m ³	 9.600 kw/h 0,4 tep		 1.500 kg
Papel reciclado	 1.250-1.400 kg papel usado	 8 m ³	 3.600 kw/h 0,15 tep		 100 kg

Figura 4.3.10. Consumos típicos en la fabricación de papel a partir de pasta virgen o recuperada.
Tep: Tonelada equivalente de petróleo.

Fuente: Reciclapapel.org. Papelera Peninsular/Equipo Mandrágora.

La primera etapa para la fabricación de papel o cartón a partir de papeles recuperados es la clasificación de la materia prima, que a menudo se hace de forma manual. Esta clasificación dependerá del producto que se vaya a fabricar. Así se distinguen los siguientes tipos de calidades, en función del tipo de fibra en el residuo y la cantidad e intensidad de tinta que tiene el papel usado.

- **Calidades ordinarias (grupo A):** que incluyen papeles y cartones mezclados, recortes de cartón, recortes de cartón ondulado, embalajes de centros comerciales, revistas e impresos mezclados, y periódicos e impresos mezclados.
- **Calidades medias (grupo B):** como periódicos leídos, periódicos no vendidos, recortes de revistas u otros materiales similares, recortes de cartoncillo con una cara blanca, y recortes de encuadernaciones sin encolar.
- **Calidades superiores (grupo C):** papel continuo de ordenador, papel de ofimática, cartoncillo blanco sin imprimir, recortes de papel blanco, y papel para imprimir blanco.
- **Calidades kraft (grupo D):** sacos, cartón ondulado realizado con papel kraft, y recortes de papel kraft.

La importancia de separar el papel según estas calidades radica en la necesidad de que la materia prima no contenga tipos de papel que no pueden reciclarse u otros materiales extraños que perjudican el proceso de reciclado.

Una vez separada la materia prima según las calidades descritas, se procede a la separación de la materia impropia, sustancias no deseables o contaminantes, que están presentes en el papel recuperado, y que es preciso eliminar.

La eliminación de estos elementos se lleva a cabo por procedimientos físico mecánicos mediante equipos específicos. Se puede distinguir entre elementos indeseables, que pueden causar daños a la maquinaria o reducir la calidad del producto final, y materiales perjudiciales, que dificultan el proceso o reducen la calidad del producto. Los elementos indeseables más frecuentes que acompañan a la materia prima son:

- Cristales y arena,
- Grapas y otros elementos metálicos,
- Cables, telas, cuerdas, papeles plastificados, bolsas de plástico,
- Textiles,
- Fibras coloreadas,
- Tintas de impresión offset.

Y los perjudiciales:

- Cartón embreado,
- Papel carbón,
- Papel a prueba de grasa,
- Papel resistente a la humedad,
- Papel encerado.

Una vez seleccionada la materia prima y realizada la mezcla en las condiciones deseadas, con el fin de obtener una distribución de tamaños de fibra adecuados, será necesario dispersar el papel recuperado en grandes cantidades de agua. La planta de preparación de pastas está formada por equipos dispuestos en serie, a través de los cuales pasa la pasta diluida y en los que se produce la eliminación de los compuestos no deseados y la adecuación de las fibras para la formación del producto final.

Los procesos de reciclado de papel pueden ser agrupados en dos:

- **Pulpeo, limpieza y descontaminación:** para las pastas destinadas a la fabricación de papeles y cartonajes de embalaje.
- **Pulpeo, limpieza, descontaminación y destintado:** para las pastas destinadas a papeles prensa, revistas, tisú u otros de impresión y escritura. También existen plantas destinadas a la producción de pasta para el mercado (pastas DIP).

Pulpeo

Una vez separada la materia prima, según las calidades descritas, se vierte el papel junto con agua en el pulper o desfibrador, donde se tritura para separar las fibras de celulosa de las partículas de tinta que las acompañan. Para ello se pueden añadir reactivos, como la sosa cáustica, el silicato sódico o el peróxido de hidrógeno. En el caso de fabricación de cartón y derivados no se suelen añadir reactivos en la etapa de pulpado. Se puede utilizar NaOH posteriormente a dicha etapa para mejorar el rendimiento global del proceso.

La disgregación de la materia prima se lleva a cabo en pulpers que suelen ser bien continuos de baja consistencia o discontinuos de alta consistencia.

Los de baja consistencia trabajan generalmente al 3-6% de consistencia, pueden ser verticales u horizontales y su uso está menos extendido en la industria debido a su mayor consumo energético. Estos equipos suelen incorporar un ciclo de limpieza para eliminar los residuos que quedan en la rejilla del pulper.

Los de alta consistencia trabajan entre el 5 y el 18%. Esta mayor consistencia es importante porque supone menos agua y mayor concentración de los agentes químicos utilizados, que actuarán más eficazmente.

Los residuos no fibrosos y las piezas metálicas se separarán, posteriormente a la etapa de pulpeo, en un separador. La dilución en el pulper se lleva a cabo con aguas de proceso procedentes de recirculaciones del propio proceso de fabricación de la pasta.

Depuración y destintado

Una completa depuración de la fibra reciclada es imposible en una sola etapa. El principio fundamental es eliminar los contaminantes lo antes posible, prevenir que se reduzcan de tamaño y evitar la pérdida de fibras. Dependiendo de la calidad deseada se llevan a cabo más o menos etapas de depuración, con recirculaciones, para una óptima recuperación de las fibras. El tamaño de las partículas que se elimina en cada una de las etapas se puede observar en la figura 4.3.11.

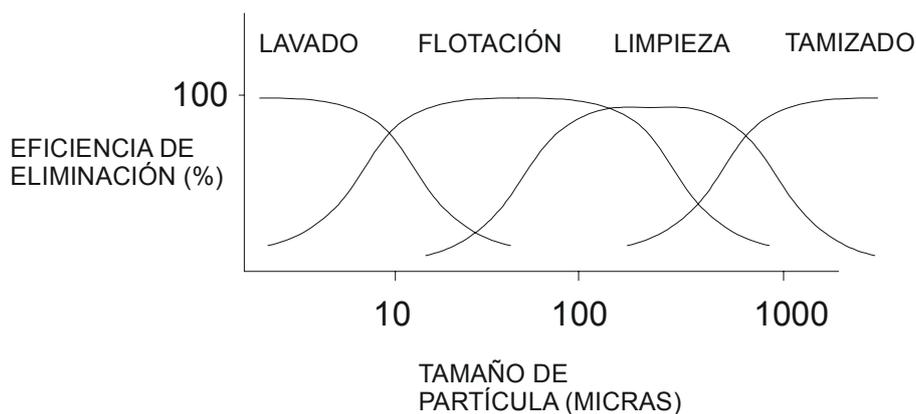


Figura 4.3.11. Eficacia de separación de los sistemas utilizados en la depuración de pastas.
Fuente: B.Carré and G. Galland. Overview of deinking Technology.

La pasta desintegrada pasa por una primera depuración grosera, que se realiza en depuradores de agujeros entre 8 y 10 mm de diámetro, donde se eliminan principalmente papeles de aluminio, corcho blanco de embalajes, papeles resistentes en húmedo, muestras de productos, plásticos de gran tamaño, cuerdas, flejes, alambres, maderas, etc.

Posteriormente se procede a una depuración ciclónica de alta consistencia, en la que se separan, por fuerza centrífuga, materiales más pesados que las fibras, como piedras, arenas, cristales, grapas, metales de distinto tamaño, etc; y una depuración a alta consistencia, en la que se separan, por tamizado en depuradores rotativos, de agujeros o ranuras, partículas de tamaños entre 3 y 0,2 mm, principalmente plásticos.

En el caso de pastas destintadas, las tintas se eliminan por flotación. Es un método de separación basado en las propiedades superficiales de las partículas. Aquellas, de naturaleza hidrofóbica, se unen a las burbujas de aire y suben a la superficie, donde se eliminan mecánicamente por rebose o por extracción con vacío. La flotación elimina las cargas y pigmentos en cierta cantidad, dando una espuma con un gran contenido en cenizas, y cerca de un 50% de los "stickies" o contaminantes orgánicos de carácter pegajoso que vienen con el papel recuperado (adhesivos, latex, agentes de estucado, etc).

Finalmente, se separan mediante depuradores ciclónicos a baja consistencia, por acción de la fuerza centrífuga, los contaminantes más pesados y de menor tamaño que las fibras, que han pasado a través de todos los depuradores anteriores; y se separan por tamizado, mediante depuradores a baja consistencia, contaminantes de pequeño tamaño y menor densidad que las fibras, principalmente pequeñas partículas de tinta, plásticos y materiales pegajosos como "stickies".

Espesado

La pasta que sale de la depuración (clasificación), que se debe llevar a cabo a baja consistencia para mantener una eficacia elevada, se debe concentrar para su posterior tratamiento mediante dispersión. Se procede así a una etapa de espesado a alta consistencia en un filtro de discos. En esta fase se elimina una gran parte del agua aportada en las fases anteriores, con lo que se consigue la eliminación de contaminantes no separados previamente y el aprovechamiento de los productos químicos residuales. El agua resultante puede ser reutilizada en el circuito, cerrando así un lazo. Las líneas actuales de fabricación de pastas se diseñan con lazos separados de agua, de forma que al final de cada línea, mediante la utilización de filtros de discos y/o prensas tornillo, la pasta es espesada y se recuperan grandes cantidades de agua que se reutilizan en las etapas anteriores. Los filtros de discos consiguen extraer aguas de dos calidades denominadas filtrado turbio y filtrado claro. El funcionamiento de un filtro de discos aparece resumido en la figura 4.3.12.

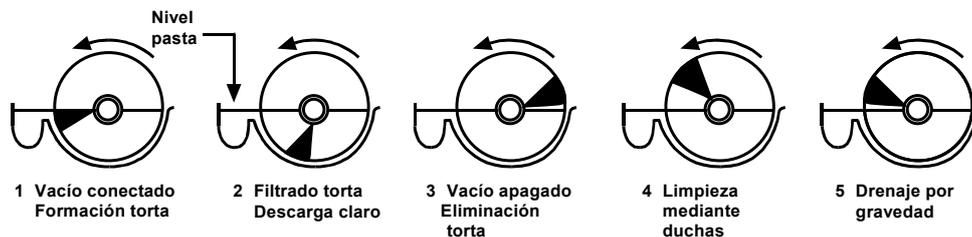


Figura 4.3.12. Esquema de funcionamiento típico de un filtro de discos.

Las prensas de tornillo extraen el filtrado turbio que se une al del filtro de discos. Ambos tipos de agua son reutilizados en el proceso, como por ejemplo en la dilución del papel recuperado utilizado como materia prima para la producción de pasta, así como en otros muchos puntos del proceso. Esta técnica, considerada como una MTD en el BREF, conlleva importantes ahorros en los consumos de agua de proceso.

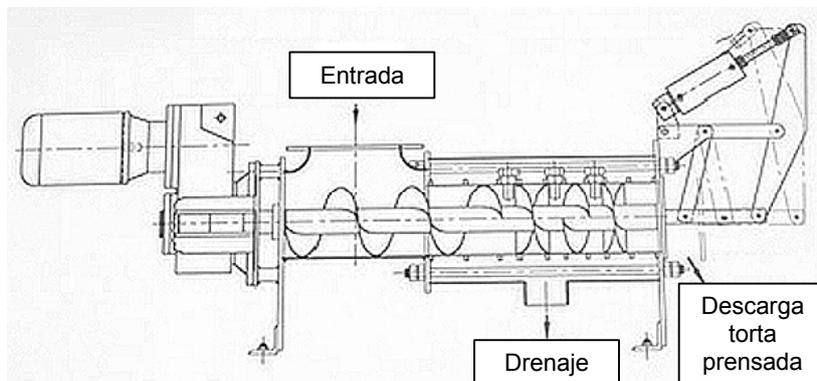


Figura 4.3.13. Esquema de funcionamiento típico de una prensa de tornillo.

Dispersión

Existen algunas sustancias que no es posible eliminar por ninguno de los procedimientos descritos anteriormente y que aparecen junto con las fibras en el papel acabado. Aunque no es posible la eliminación de estas sustancias, se han desarrollado sistemas que permiten su atomizado y difuminado entre las fibras, lo que da una mayor uniformidad al producto acabado. Esta operación se lleva a cabo mediante una etapa de dispersión, en la que la pasta es sometida a un intenso tratamiento mecánico por fricción. Los sistemas de dispersión más habituales constan de discos que giran a velocidades muy elevadas, reduciendo el tamaño de las partículas contaminantes, tales como stickies o ceras. Esta etapa se lleva a cabo a alta temperatura, lo que minimiza las pérdidas en las propiedades físicas y favorece la dispersión de los contaminantes.

Blanqueo

Dependiendo de la calidad del producto final deseado, como en el caso de papeles supercalandrados, papel de oficina o higiénicos, se suele completar la producción de pasta de papel recuperado mediante una o varias fases de blanqueo. El blanqueo se lleva a cabo generalmente en tanques con un tiempo de residencia relativamente elevado en los cuales se añade un reactivo de blanqueo que favorece la eliminación de la tinta residual. Los tratamientos de blanqueo pueden ser oxidantes o reductores. Entre los productos oxidantes el más común es el peróxido de hidrógeno que se complementa con hidróxido sódico, silicato de sodio y algunos agentes quelantes. También pueden ser usados el oxígeno y el ozono. Entre los productos reductores el más utilizado es el hidrosulfito sódico. La blancura finalmente obtenida depende tanto de la original de los papeles empleados como del proceso de preparación de la pasta utilizado y de las fases de blanqueo, llegando a blancuras de hasta 84° ISO.

Tratamiento de las aguas para su reutilización

Las aguas recogidas en las fases anteriores arrastran contaminantes que se pueden eliminar en equipos de flotación por aire disuelto denominados DAF (Dissolved Air Flotation). Estos equipos son células en las cuales se mezcla la corriente de agua residual con una corriente de agua saturada en aire de tal manera que se produce una formación espontánea de burbujas de pequeño tamaño que permiten la eliminación de contaminantes entre 0,1 y 10 μm . Este efecto se complementa a menudo con la adición de algún compuesto de naturaleza coagulante o floculante para favorecer la eliminación de la materia disuelta y coloidal. Las espumas formadas se eliminan mecánicamente de manera sencilla, mientras que el agua clarificada se retira por la parte inferior del DAF y se reutiliza una vez más en el proceso. Esta técnica, considerada una MTD conlleva importantes ahorros en los consumos de agua de proceso por la importante reutilización que permite.

En la figura 4.3.14 se puede observar el diagrama de flujo de operación de una unidad de flotación por aire disuelto.

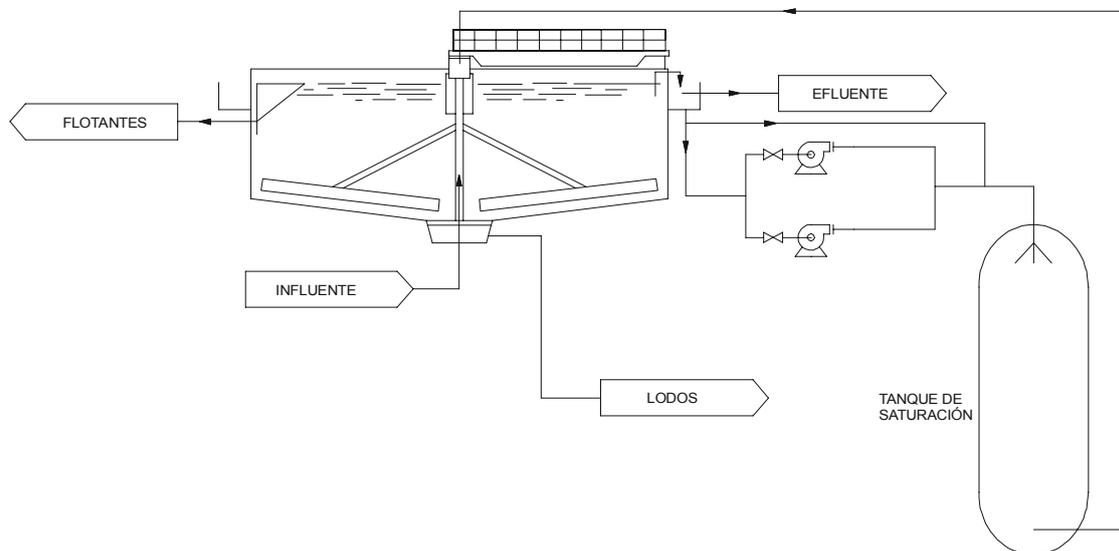


Figura 4.3.14. Diagrama básico de una unidad de flotación por aire disuelto.

Diagramas de bloques de procesos de fabricación

En la figura 4.3.15 se presenta un diagrama de bloques de un proceso de fabricación de pasta destintada y en la figura 4.3.16 el diagrama de bloques para la fabricación de pasta para la fabricar cartón ondulado.

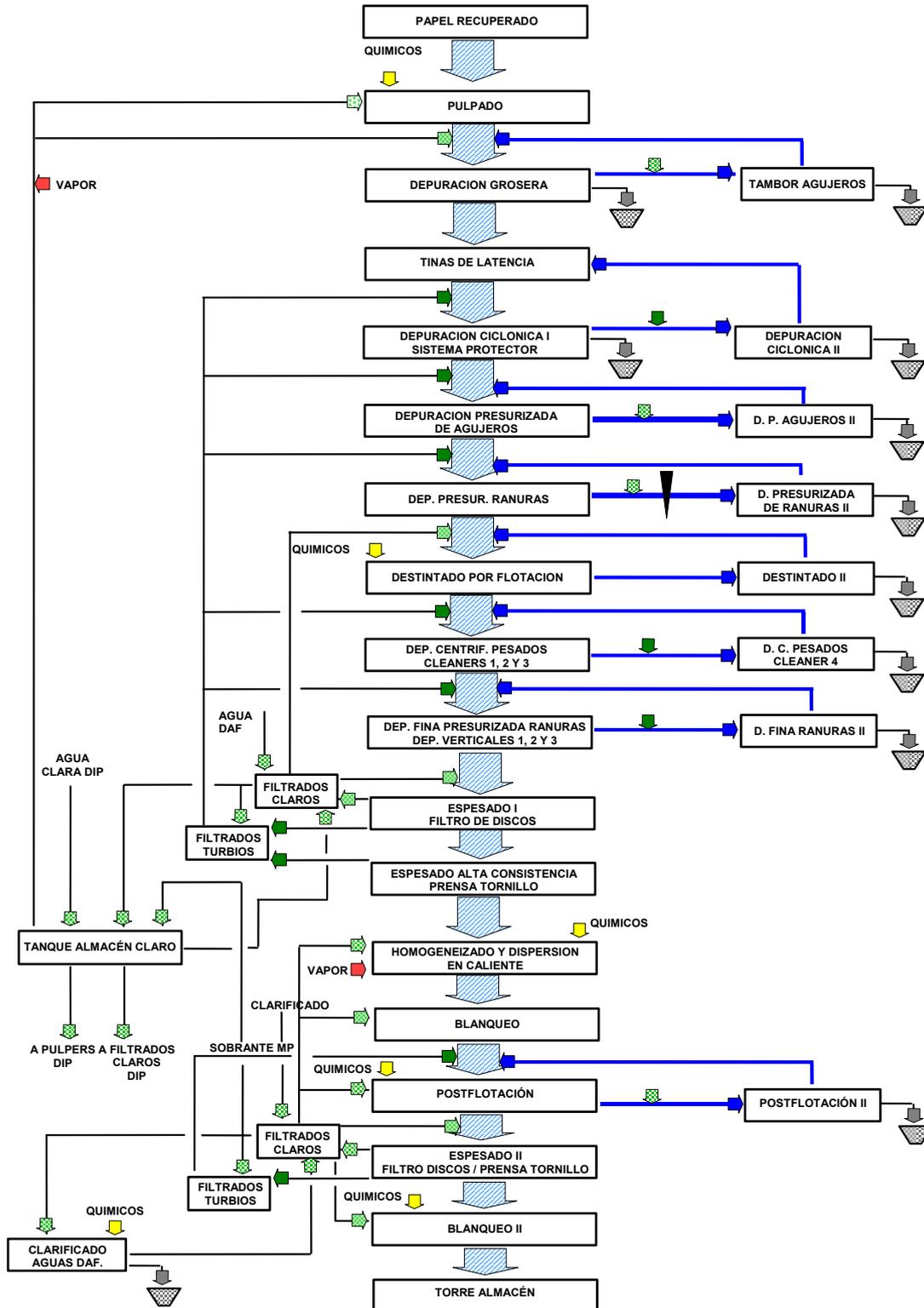


Figura 4.3.15. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de pasta destintada.

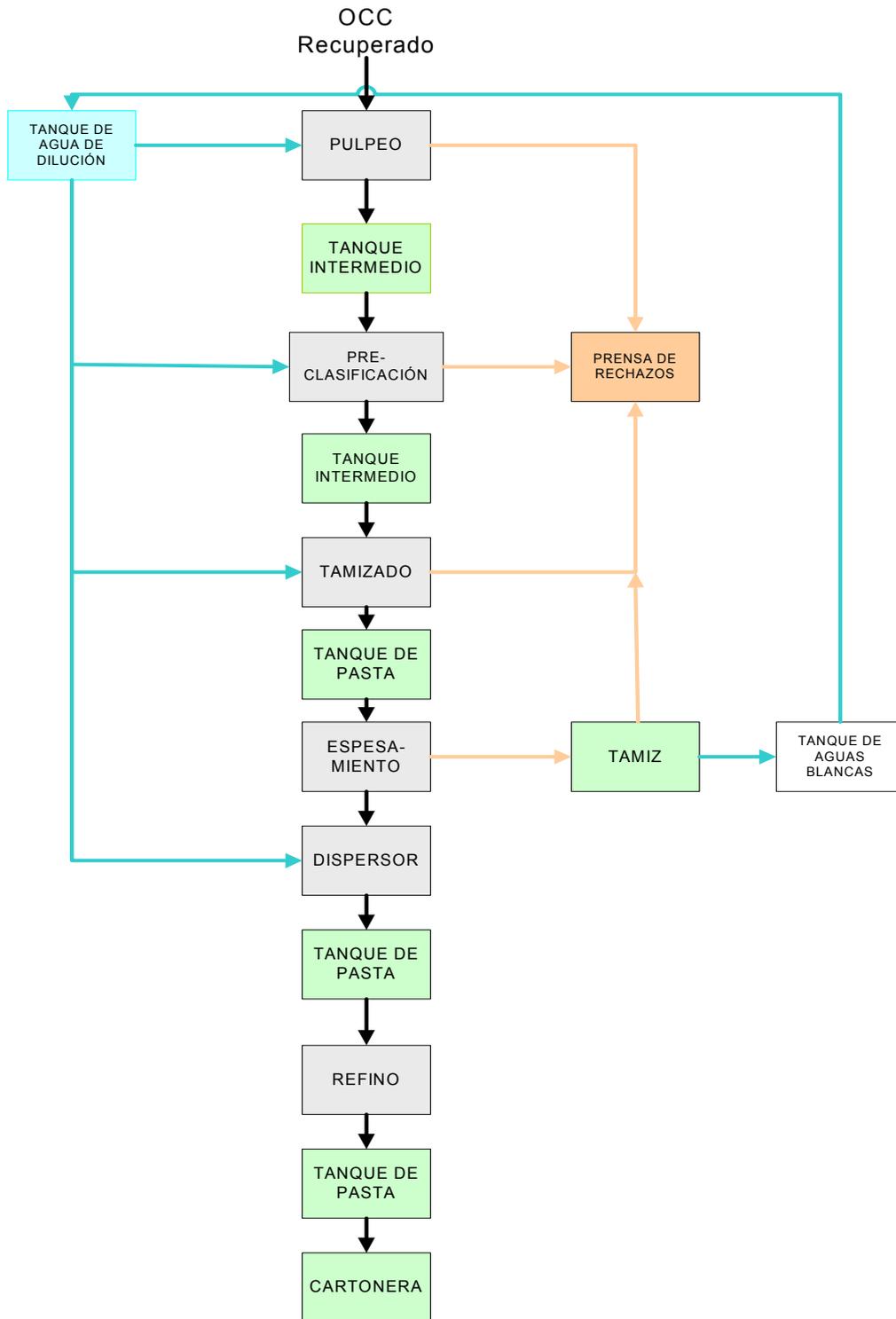


Figura 4.3.16 Diagrama de bloques del proceso de fabricación de pasta de cartón ondulado.

4.3.6. Fabricación de papel

La fabricación de papel, independientemente del tipo de máquina que se emplee, consiste en la formación de la hoja a partir de una suspensión diluida de pasta de papel. La máquina de papel es la unidad principal y más característica de este proceso. En ella se forma, desgota, prensa y se seca la hoja continua de papel que se enrolla en la última de las secciones que la integran.

El procedimiento para producir papel reciclado o papel proveniente de pasta virgen es muy similar por lo que sólo se presenta una síntesis del proceso común. Las etapas comunes a toda línea de producción de papel o cartón son: preparación de la suspensión de pasta, sección de formación, sección de prensado, sección de secado y sección de acabado y manipulado. Si bien la sección de acabado no es necesaria para todos los productos y en muchos casos se realiza de forma independiente.

Aunque existen distintos tipos de máquinas las más utilizadas tradicionalmente son las Fourdrinier, como la mostrada en la figura 4.3.17.

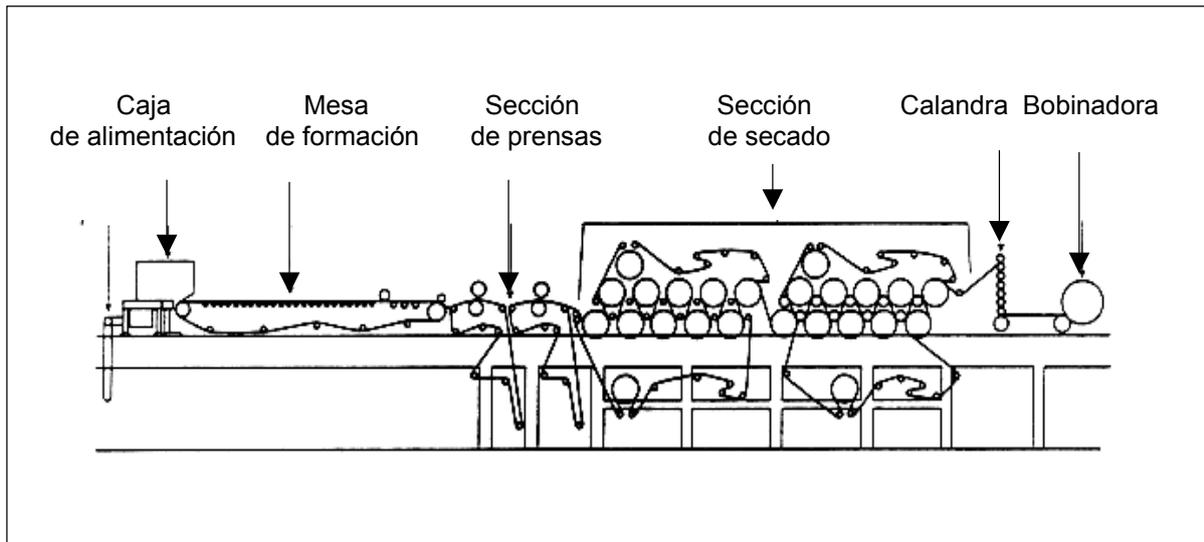


Figura 4.3.17. Línea de producción de papel con una máquina Fourdrinier.

La pasta, convenientemente depurada mediante los procesos descritos en el apartado anterior entra en la máquina de papel, que se puede dividir en dos secciones principales:

- **Parte húmeda:** En la que se forma la hoja y se procede a su secado, primero por gravedad y luego por acción del vacío.
- **Parte seca:** en esta sección se procede al secado del papel por prensado y secado a alta temperatura, para eliminar el agua residual. En este proceso, la hoja pierde hasta un 70% del agua que contenía.

El objetivo de todo fabricante de papel es doble: en primer lugar obtener un producto de la mejor calidad y menor coste posible, dentro de las especificaciones previamente definidas en función de su uso, y alcanzar la máxima productividad, lo cual significa trabajar con la máxima velocidad de máquina posible y sin paradas.

Para alcanzar estos objetivos, el fabricante debe optimizar el proceso papelerero en función de la calidad del producto final que se desee obtener. Para ello es necesario controlar todos los procesos que intervienen en la formación de la hoja.

Parte húmeda de la maquina de papel

Independientemente de los distintos equipos que se puedan utilizar, las variables básicas a considerar son: la composición de la materia prima (% de fibra virgen, resinosa y frondosa,% de papel recuperado), el porcentaje de cargas minerales y pigmentos, la velocidad de la máquina y, lo que es más importante, la química de la parte húmeda de la máquina de papel.

La optimización de la química de la parte húmeda tiene por objeto controlar el estado de floculación de la suspensión de pasta durante el proceso de formación de la hoja. La floculación, fenómeno complejo y difícil de controlar, es de gran importancia puesto que el grado de floculación de la suspensión afecta a la eficacia del proceso y a la calidad del producto final. Aunque la presencia de flóculos es importante para mejorar el grado de retención y la velocidad de drenaje y, por tanto, la velocidad de la máquina, el tamaño y las características de los mismos deben de controlarse si no se quiere alterar la calidad final del producto desde el punto de vista de formación, porosidad y resistencia.

Una vez preparada la suspensión de pasta, ésta se bombea a la caja de alimentación, cuya función es distribuir homogéneamente la suspensión diluida de fibras y aditivos (0.05-1%) sobre la mesa de formación a través del labio. Para conseguir este objetivo, en la caja de alimentación se crean microturbulencias para romper los flóculos de fibras y se acelera la suspensión para ajustar su velocidad a la velocidad de la máquina.

Existen tres tipos principales de cajas de entrada:

- Cajas de entrada de rodillos, ya sean abiertas o cerradas.
- Cajas de entrada hidráulicas convencionales.
- Cajas de entrada hidráulicas de dilución.

La mesa de formación, de hasta 10 m de anchura y 35 m de largo, está formada por una tela plástica sin fin, que actúa de filtro. Bajo la tela hay distintos elementos que favorecen el drenaje. Cuando la suspensión se deposita sobre la tela, el agua drena a su través, primero por gravedad y después por vacío, mientras que los sólidos en suspensión quedan en su mayoría retenidos, formando una torta húmeda sobre la tela. Los distintos elementos de drenaje producen diferentes velocidades de drenaje y su disposición debe de optimizarse con el fin de conseguir un desgote progresivo de la pasta y evitar el sellado de la hoja. Generalmente se distinguen dos secciones, una de filtrado, por medio de hidrofoils y vacuum-foils y otra de consolidación, por medio de cajas aspirantes y un cilindro aspirante. Las aguas de drenaje o aguas blancas se recogen y se reutilizan en la sección de preparación de la pasta.

En términos papeleros, se entiende por formación, la distribución de las partículas en suspensión para formar la hoja de papel. La formación de la hoja es el resultado de la combinación de tres procesos hidrodinámicos: drenaje, flujo laminar y flujo turbulento, que ocurren simultáneamente. Una buena formación requiere una distribución homogénea de las fibras, finos y cargas minerales en la hoja. Desde este punto de vista uno de los fenómenos más importantes que tienen lugar en la parte húmeda de la máquina de papel y que perjudican la formación es la tendencia de las suspensiones a formar redes tridimensionales estables por floculación mecánica de las fibras.

La retención de fibras se ve favorecida por el entrecruzamiento mecánico de las mismas mientras que la retención de finos y cargas minerales es el resultado de la interacción electrostática entre las partículas en suspensión y los aditivos químicos. Por tanto, la floculación mecánica influye principalmente en la formación de la hoja mientras que la floculación química influye preferentemente en la retención. Por último, la adhesión y oclusión de finos y cargas minerales en el interior de los flóculos formados por el entrecruzamiento de fibras afecta principalmente al proceso de drenaje.

Otra variable a considerar es la naturaleza de la superficie de las fibras. Las propiedades superficiales de las fibras están determinadas por la materia prima (tipo de madera, proceso de obtención de la pasta, grado de digestión, etc) y por el grado de refino. El grado de refino es especialmente importante en la floculación de finos y cargas minerales por dos razones: la primera porque determina el grado de fibrilación, que facilita el proceso de oclusión de partículas en la red; y la segunda porque determina el número, tipo y distribución de grupos cargados en la superficie de las fibras, los cuales permiten la floculación química de las partículas en suspensión en presencia de agentes de retención.

De acuerdo con su naturaleza química, los floculantes se agrupan en tres grandes categorías:

- Sustancias inorgánicas o electrolitos. Su objetivo es disminuir el potencial electrocinético de las partículas en suspensión. Los más utilizados en la industria papelera son los derivados del aluminio.
- Productos naturales y sus derivados. Son compuestos orgánicos formados por polisacáridos, cuyos principales representantes son el almidón y las gomas vegetales.
- Polímeros orgánicos sintéticos o polielectrolitos. Son floculantes sintéticos, solubles en agua, eficaces a concentraciones muy pequeñas. Poseen distintos grupos activos distribuidos a lo largo de sus cadenas. Los más utilizados son iónicos como por ejemplo las poliacrilamidas y las polietileniminas.

El efecto de los floculantes viene determinado por su mecanismo de actuación, que depende principalmente de las características del floculante: peso molecular y densidad de carga; de las características de las partículas con las que interacciona: densidad de carga, morfología de su superficie; y de las variables de proceso: tiempo, turbulencia, conductividad y pH del medio, etc. Para desestabilizar la suspensión caben dos posibilidades:

- Reducir las fuerzas negativas, y de este modo permitir el acercamiento de las partículas hasta que actúen las fuerzas de atracción de van der Waals.
- Aumentar las fuerzas atractivas entre las partículas.

Como ya se ha indicado, los aditivos químicos producen distintos efectos dependiendo de la naturaleza concreta del producto utilizado. Unos favorecen la floculación, mientras que otros la reducen, como en el caso de los aditivos de formación. Los agentes que mejoran la retención y el drenaje favorecen la floculación y la estabilidad de los flóculos formados debido a la modificación de la carga eléctrica de la suspensión y de la superficie de las fibras, favoreciendo la unión entre las partículas.

En resumen, la floculación depende de las características de la materia prima, de las propiedades físicas y químicas de la suspensión y del grado de turbulencia creado en la máquina. El control de la floculación es complejo porque la optimización de los procesos de formación, retención y drenaje requiere distintas características de los flóculos, por lo que el proceso se tiene que optimizar en su conjunto buscando una solución de compromiso entre todos los procesos mencionados.

Una característica inherente al proceso de fabricación con una máquina Fourdiner es que toda el agua se elimina a través de una de las caras de la hoja, la que está en contacto con la tela de formación, lo que produce diferencias en las características de ambas caras, este efecto se acentúa con la velocidad. Para evitar este problema se pueden utilizar máquinas de doble tela o máquinas de varias telas (figura 4.3.18).

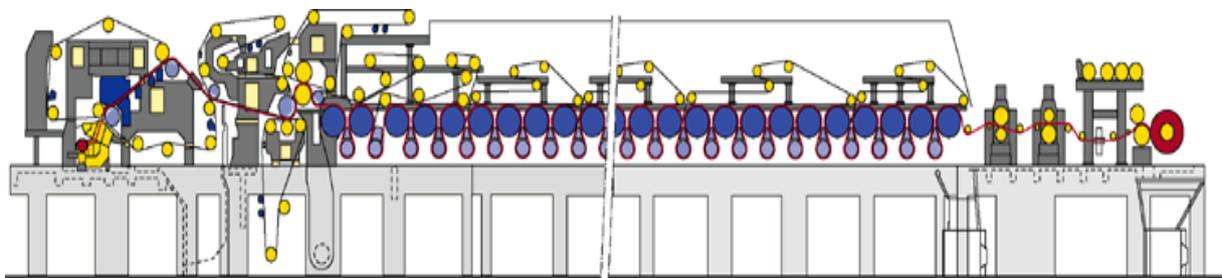


Figura 4.3.18. Máquina de doble tela.

Sección de prensado y secado

Al final de la mesa de formación la torta ya ha adquirido un 20% de consistencia y se considera una hoja húmeda de baja resistencia. Una vez que no se puede eliminar más agua por vacío, la hoja húmeda pasa a la sección de prensado cuyo objetivo es aumentar la consistencia hasta un 35-45%, consolidar la hoja y disminuir su rugosidad. Aunque la hoja aparentemente está seca las fibras conservan una gran cantidad de agua en su interior, agua intersticial, que sólo se puede eliminar en la sección de secado. En esta etapa se favorecen las uniones entre fibras, se modifican las propiedades superficiales de la hoja y se seca el papel hasta un 94-97% de sólidos. La humedad final de la bobina debe de controlarse porque si el papel está demasiado seco se vuelve frágil.

Aproximadamente el 90% del coste de eliminación de agua se produce en la sección de prensado y secado y la mayoría de este coste corresponde a la zona de secado. Por tanto, para reducir costes hay que optimizar el drenaje en las primeras etapas de la máquina. La capacidad de drenaje de una pasta depende del tipo de pasta y del grado de refinó y en ocasiones puede llegar a limitar la velocidad de la máquina, por lo que es de gran importancia el uso de aditivos de drenaje y la optimización del tipo de flóculos formados.

En la figura 4.3.19. se representa el perfil de drenaje en una máquina Fourdrinier.

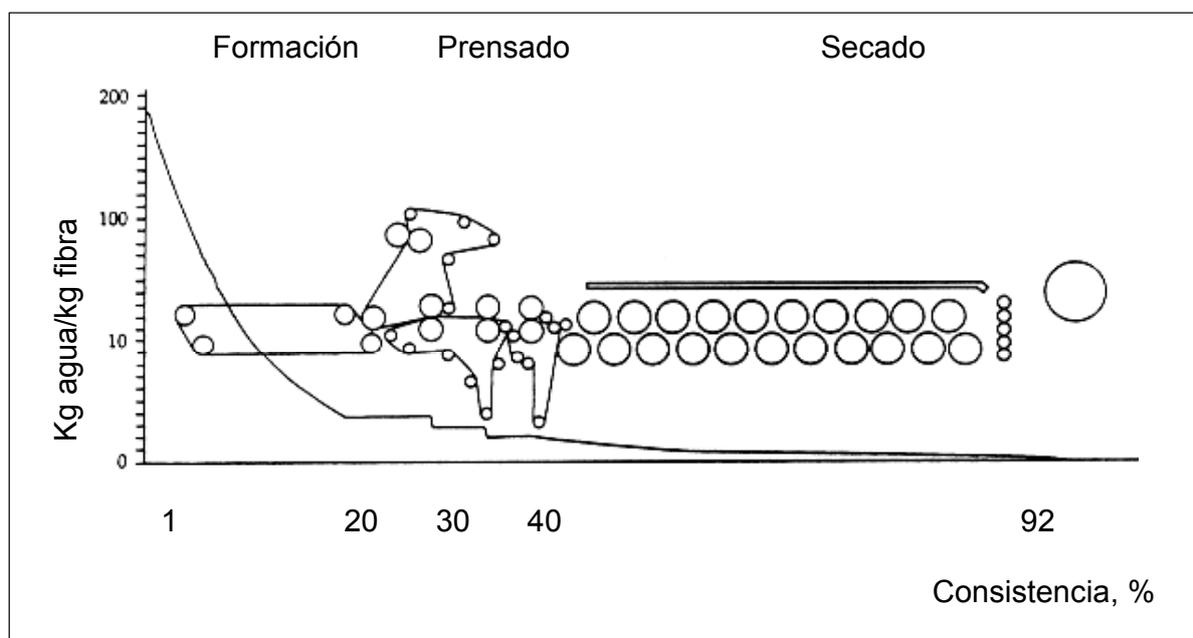


Figura 4.3.19. Perfil de drenaje de una máquina Fourdrinier.

Sección de acabado

Dependiendo de la calidad del producto final, la sección de acabado puede integrar distintos procesos como, por ejemplo, de encolado, estucado y/o calandrado.

Cuando el papel ya está prácticamente seco se puede llevar a cabo el proceso de encolado superficial, consistente en añadir una disolución de almidón a la superficie del papel para controlar la penetración de líquido en la hoja y por tanto mejorar sus propiedades superficiales durante el proceso de impresión. Los agentes de encolado más utilizados son el dímero de alquilceteno y el ácido de anhídrido succínico.

El agente encolante rellena los poros y los capilares de la hoja, de tal forma que el papel se vuelve más resistente al flujo de fluidos a su través. De forma indirecta también aumenta la resistencia superficial debido a que las disoluciones de almidón favorecen las uniones entre fibras, evitando que

se produzcan defectos en la impresión. En muchas ocasiones el encolado se realiza en masa y no en superficie y, en general, solamente se evita el encolado en los papeles higiénicos.

Las variables que influyen en el encolado superficial son:

- **Características de las hojas:** humedad, nivel de encolado en masa, naturaleza de la superficie de papel, etc.
- **Variables de la suspensión de encolado:** contenido en sólidos, temperatura, viscosidad, composición, etc.
- **Variables de diseño y de operación:** velocidad de la máquina, configuración de los rodillos de encolado, presión, etc.

A escala microscópica, el papel tiene una superficie rugosa que hace que las tintas de impresión tiendan a distribuirse de forma no uniforme sobre la superficie de la hoja dependiendo de la distribución de capilares y fibras en la misma. Por tanto, el papel de impresión se somete a un proceso de estucado, por el cual la superficie de papel se recubre con una fina capa de pigmentos (caolín, carbonato cálcico, dióxido de titanio, etc.) unidos a la superficie por una sustancia adhesiva (almidones, gomas, latex, polivinilacetato, etc.). De este modo se obtienen papeles de impresión de alta calidad, haciendo el papel más opaco, más uniforme y más brillante, aunque también existen acabados mates.

Posteriormente, el papel se seca nuevamente y, de forma optativa, se pasa por la sección de calandrado para homogeneizar el espesor y reducirlo, para aumentar la densidad de la hoja y para mejorar el aspecto superficial del papel, aumentando el brillo y la suavidad del mismo. Esta etapa también se puede realizar en una línea independiente a la máquina de papel.

Por último, en la sección de manipulado el papel se desenrolla de la bobina y se vuelve a enrollar, una vez eliminados los defectos, de acuerdo con los tamaños solicitados por los clientes. En algunas fábricas en esta sección se realiza el manipulado completo de las bobinas hasta obtener el producto final empaquetado.

Proceso de fabricación del cartón multicapa

Las máquinas que fabrican cartón se caracterizan porque, en general, tienen varias partes húmedas que producen distintas hojas de papel que se unen en la sección de formación para producir un producto multicapa. El gramaje del cartón puede ser de hasta 500 g/m² mientras que los productos de escritura e impresión tienen un valor entre 40 y 120 g/m².

El cartón multicapa se puede fabricar de maneras distintas según el número de capas y el material utilizado en la mezcla. Los principales parámetros que se buscan en este tipo de materiales son la dureza y la resistencia a la compresión para un gramaje no muy elevado. También se requiere en muchos casos una buena imprimabilidad.

Generalmente los cartones poseen de 3 a 4 capas, de las cuales, una puede estar estucada en su superficie. Un cartón multicapa fabricado a partir de fibra reciclada podría estar compuesto, por ejemplo, por:

- Capa superficial, formada a partir de pasta blanqueada, de fibra virgen o destintada.
- Resto de capas de fibra reciclada más o menos tratada.
- Capa inferior, según el uso, puede estar igualmente tratada que la superficial.

En la figura 4.3.20 se presenta un diagrama de bloques de una fábrica integrada de cartón multicapa. Las etapas de dilución y de tamizado de la pasta son semejantes a las descritas anteriormente.

En este caso la formación de la hoja consiste en un sistema multicapa, que dispone, por lo tanto, de varias cajas de alimentación, una para cada capa. El fieltro pasa por cada una de las cajas y va recogiendo una de las capas, eliminándose el agua por acción de la gravedad y de las cajas de vacío. La hoja se seca hasta un 25% aproximadamente. El agua sobrante son las aguas blancas que se reciclan a cada uno de los tanques de aguas blancas de las líneas de pasta.

Posteriormente se lleva a cabo el prensado y secado de la hoja húmeda. Adicionalmente se podría llevar a cabo etapas de corrugado y de tratamientos superficiales, en función del tipo de producto final que se debe obtener.

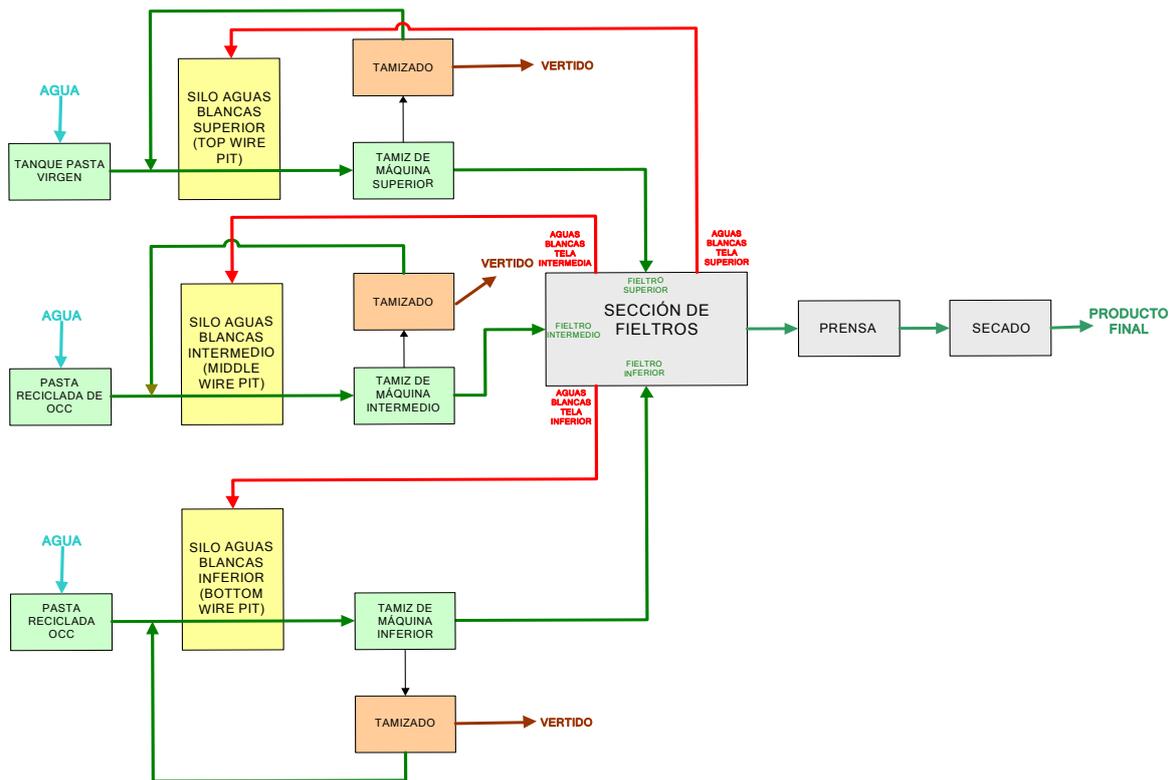


Figura 4.3.20. Diagrama de bloques de fabricación de cartón multicapa.

Equipos auxiliares de la máquina de papel

Accionamiento eléctrico

El movimiento de la máquina de papel se consigue mediante motores eléctricos de corriente alterna cuyas potencias varían entre los 5 y los 2000 Kw regulados en velocidad por variación de frecuencia.

El uso de variadores de frecuencia en los equipos, principalmente en bombas y en ventiladores, supone el ajuste en la demanda de energía que se necesita en cada momento a la consumida por estos. Por ello está considerada MTD para el ahorro de energía.

Sistemas de control

La máquina de papel se controla de forma totalmente automática, tanto en las variables de proceso como en las variables de calidad, desde las salas de operación utilizando los más modernos sistemas informáticos y de control.

Sistemas de vacío

Este sistema está formado por bombas de vacío de anillo líquido que proporcionan distintos niveles de vacío en las distintas secciones de la máquina de papel, para facilitar el drenaje del agua o el secado de los fieltros de la sección de prensas.

Sistemas de aire comprimido

Formado por compresores rotatorios que generan aire a presión que es usado para el paso de la hoja y la alimentación de los equipos neumáticos.

Sistema de vapor

Este sistema está formado por un conjunto de depósitos, bombas, separadores e inyectores que alimentan a los secadores de la sección de secado con vapor a una presión de 2,5 bares que se transforma en condensado y que debe ser eliminado de la máquina de papel para su envío a las calderas y posterior transformación de nuevo en vapor.

Sistema de ventilación

Este sistema está formado por grandes ventiladores e intercambiadores de calor que permiten extraer el aire caliente y húmedo procedente de la evaporación del agua en la sección de secado y sustituirlo por aire frío y seco procedente de la atmósfera.

La energía del aire extraído es cedida al aire de entrada en los intercambiadores de calor. Una parte de este calor, es también utilizada para el acondicionamiento del edificio donde se halla ubicada la máquina.

Sistemas de lubricación y engrase

Permiten, de forma automática y segura, mantener lubricados y engrasados todos los equipos de la máquina de papel.

Circuito de rotos

Cuando se produce una rotura de la hoja en la máquina de papel, es necesario desintegrar esta hoja para recuperar las fibras. Esta desintegración se realiza en púlperes situados bajo las distintas secciones de la máquina. Para la desintegración se utiliza el agua procedente de la tina de aguas blancas y la pasta se envía a la tina de mezcla para su reutilización, pasando antes por un sistema de espesado para el ajuste de la consistencia.

La interconexión entre equipos se realiza mediante tuberías, válvulas y equipos de control, todos ellos fabricados en acero inoxidable.

Circuito de aguas blancas

El agua eliminada en la máquina de papel, denominada agua blanca, es utilizada para diluir la pasta de alimentación a la caja de entrada. Este agua procedente de la máquina, se recoge en un depósito llamado "silo" desde donde es bombeado mediante grandes bombas reguladas en velocidad al sistema de desaeración y depuración. El exceso de agua es enviado a un filtro de discos para recuperar las fibras que son enviadas, después de un espesado, a la tina de mezcla.

Sistemas de agua para rociadores

La máquina de papel y los elementos de la misma deben mantenerse continuamente lubricados y limpios para lo que se utilizan rociadores de agua a alta presión. El sistema de agua, está formado por todos los elementos de depósitos, bombas, tuberías y válvulas para este fin.

Éste es el sistema que requiere el principal consumo de agua fresca de la máquina y de toda la fábrica. Es en este punto donde la calidad del agua ha de ser más alta para mantener los requisitos de calidad del producto y el correcto funcionamiento de las distintas secciones.

Buena parte de las medidas actualmente implantadas o en fase de investigación y desarrollo para la minimización de consumo de agua van encaminadas a sustituir el agua fresca por agua clarificada en las regaderas en las que esto sea posible, o bien a establecer tratamientos de depuración (ultrafiltración) que permitan mejorar las características del agua clarificada para su reutilización en las regaderas más exigentes.

Sistemas de calefacción de rodillos

Se utiliza para ello una caldera – quemador para calentamiento de aceite térmico para calentamiento de rodillos de la calandra. Esta caldera utiliza gas natural como combustible.

Sistemas de dosificación de productos químicos y aditivos

Como ya se ha indicado, en la máquina de papel es necesario utilizar algunos productos químicos, necesarios para la limpieza de los fieltros, agentes bactericidas para evitar la formación de colonias de bacterias y biopelículas o “slime”, agentes antiespumantes para evitar la formación de espumas, agentes de retención para favorecer la formación de flóculos de fibras y cargas minerales como carbonato cálcico para controlar las características de porosidad, lisura, permeabilidad, etc., de la hoja de papel.

5. PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES EN LA FABRICACIÓN DE PASTA Y PAPEL: CORRIENTES RESIDUALES Y CONSUMOS

Existen diversas problemáticas medioambientales derivadas de los procesos de fabricación de la pasta y el papel, pero éstas dependen en gran medida tanto de las materias primas utilizadas, cargas, aditivos y pigmentos, como de los procesos llevados a cabo en dicha industria.

En este capítulo se describen las distintas fuentes de contaminación atmosférica, de vertidos líquidos y de residuos sólidos para los principales procesos en la fabricación de la pasta y el papel. En algunos casos se proponen determinadas opciones de gestión, que en cualquier caso deberían ser contrastadas particularmente con las obligaciones de gestión de las corrientes residuales que estén establecidas en cada país, aquellas que son de obligado cumplimiento.

Con el objeto de facilitar la comprensión de lo descrito en los distintos apartados de este capítulo se muestran a continuación unos esquemas generales de generación de corrientes residuales en función de los procesos descritos en el capítulo 4.

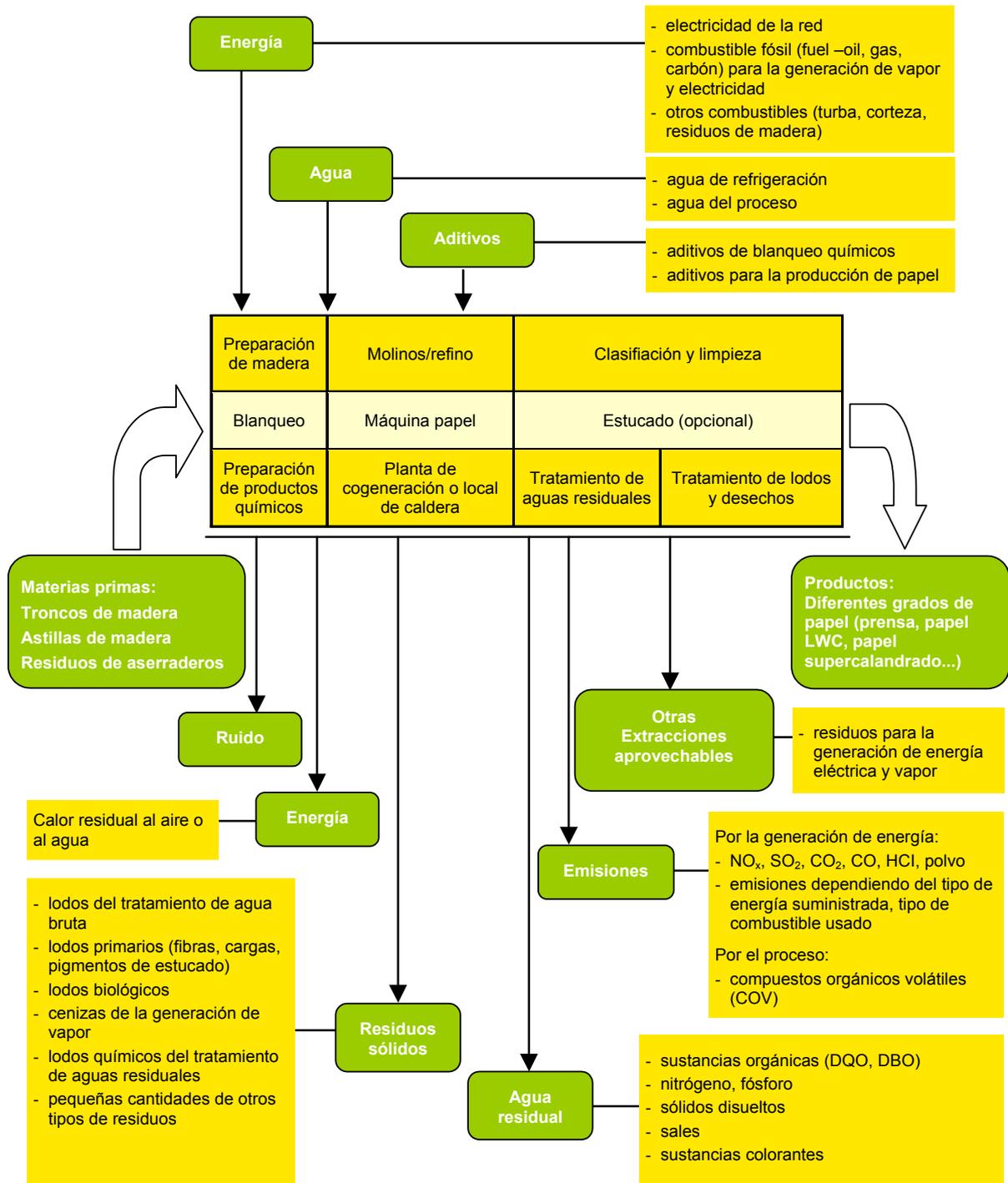


Figura 5.1. Fabricación de pasta mecánica.

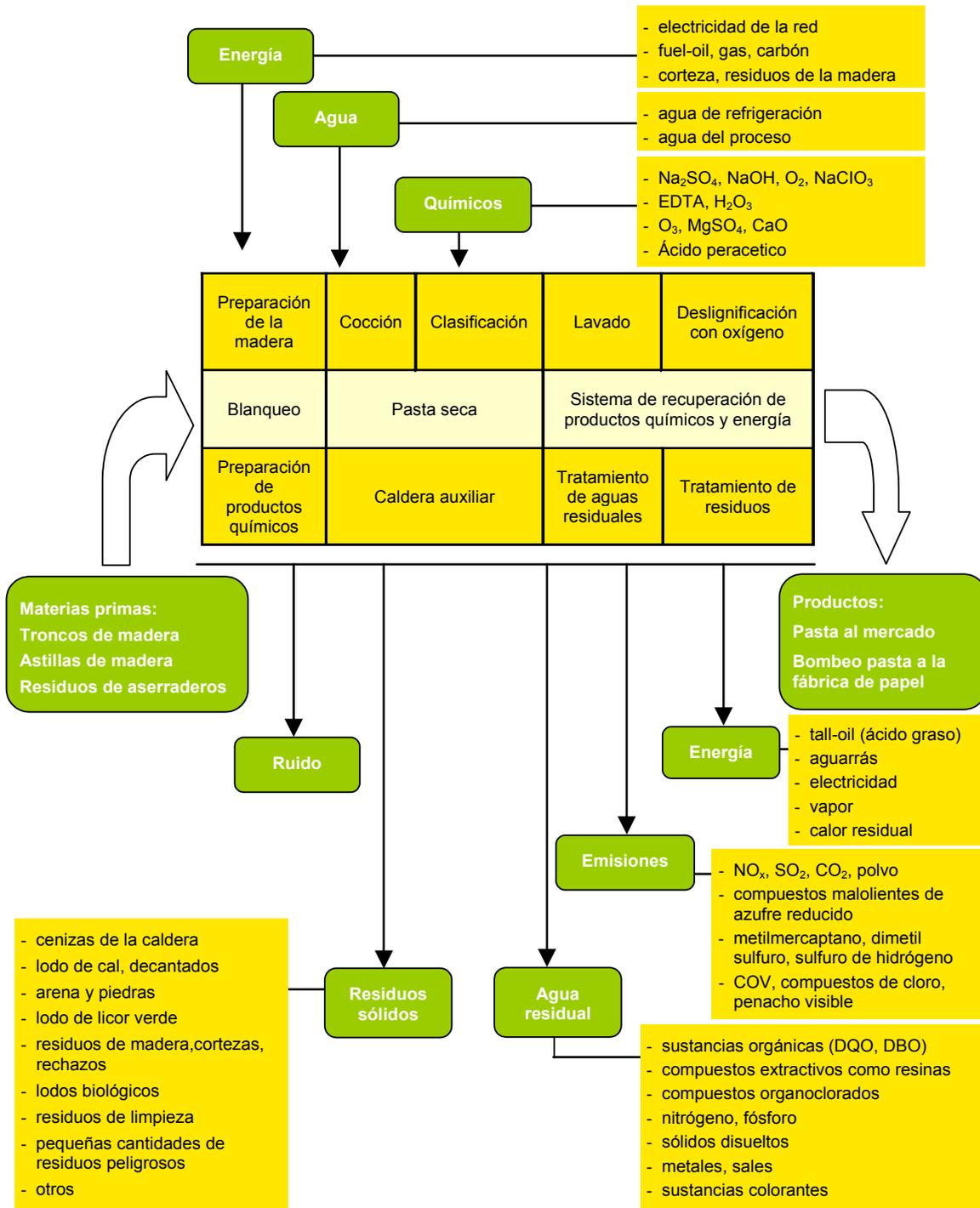


Figura 5.2. Proceso de pasta Kraft.

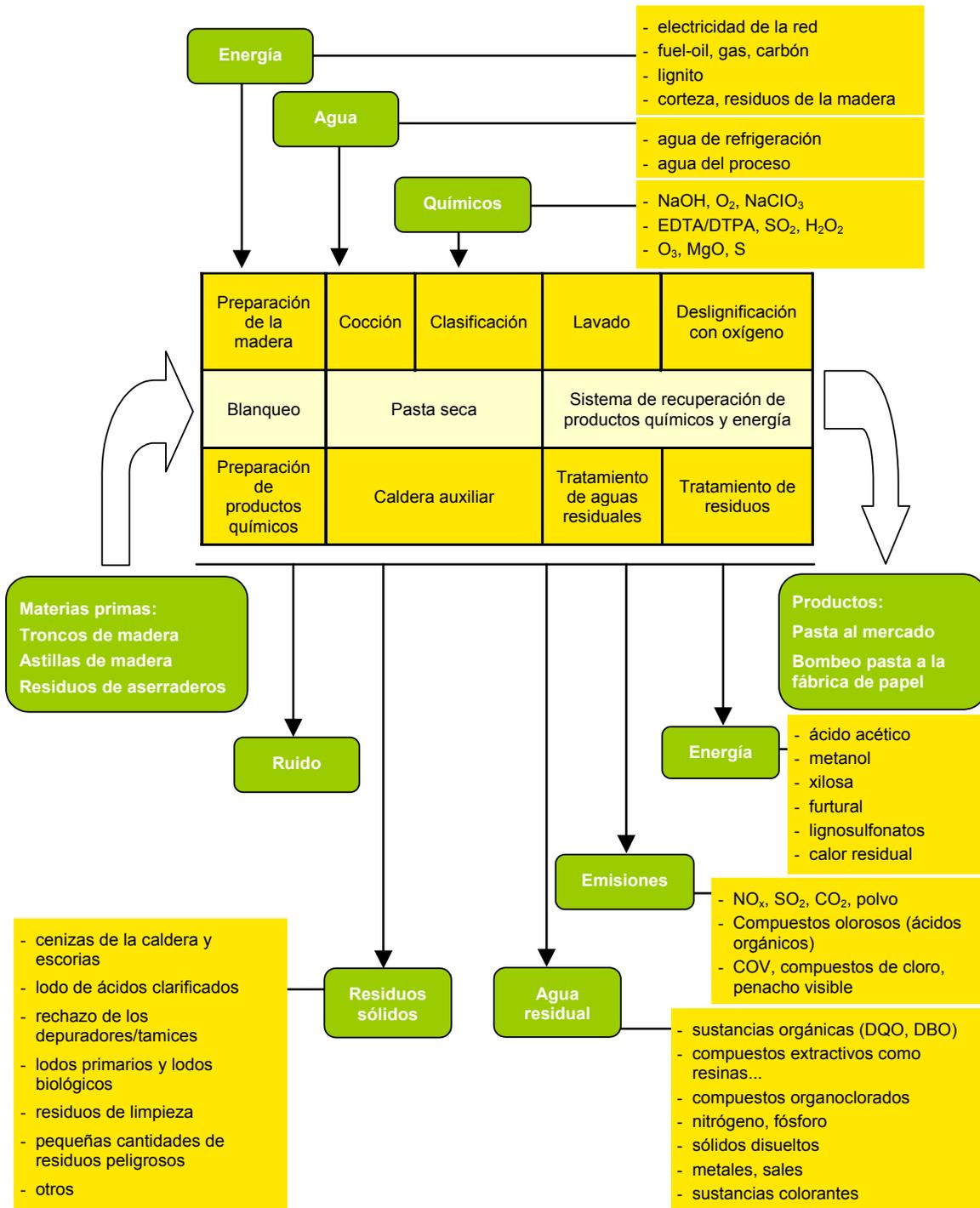


Figura 5.3. Proceso de pasta al sulfito.

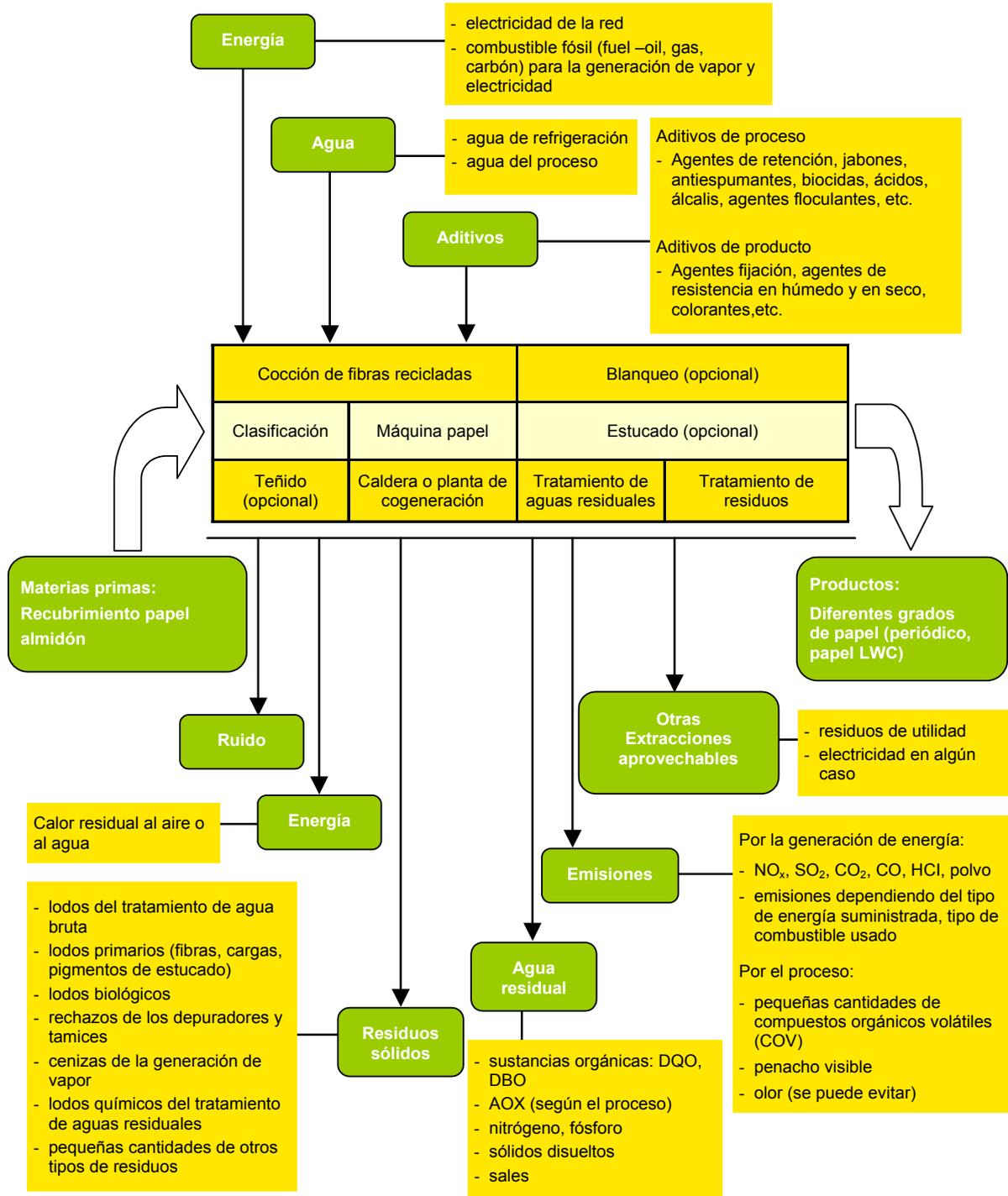


Figura 5.4. Fabricación de papel reciclado.

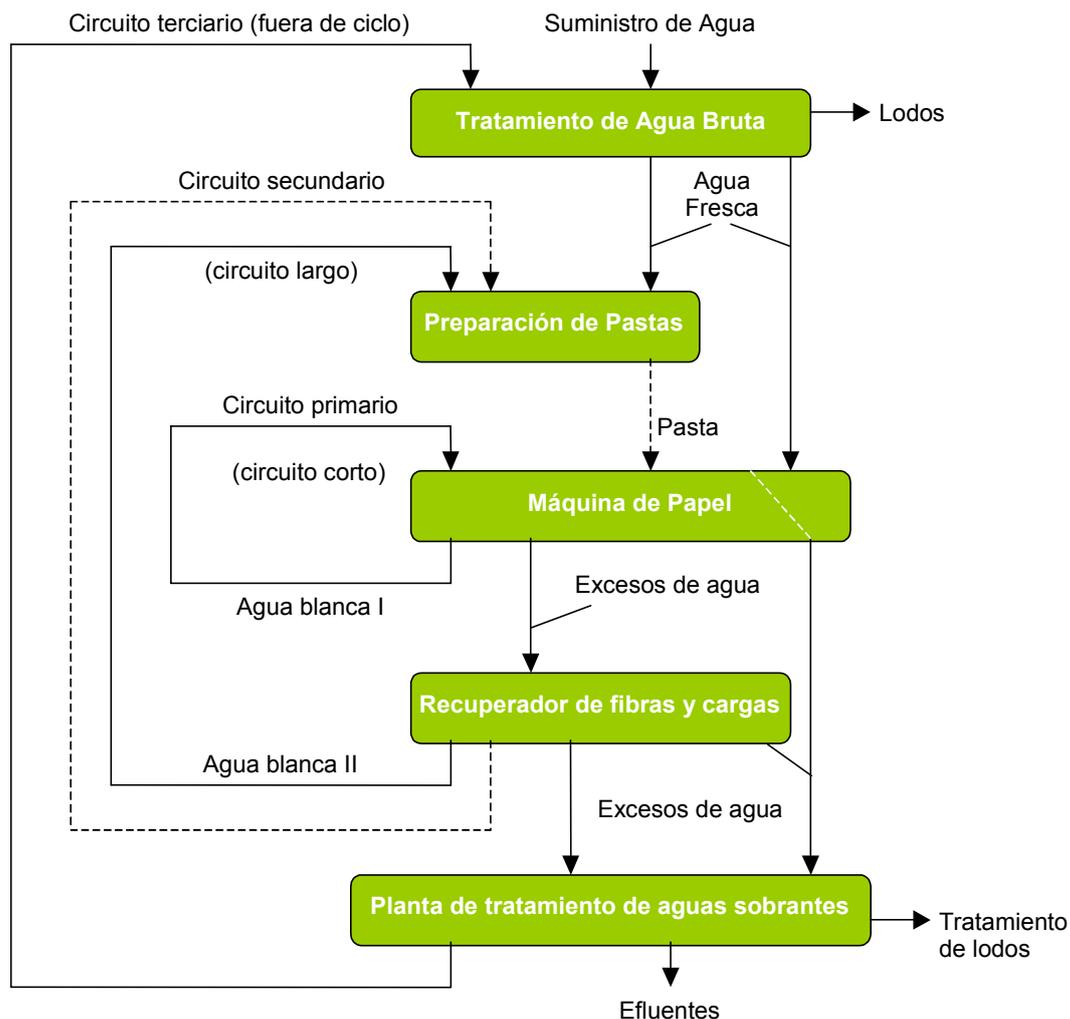


Figura 5.5. Flujos de pasta, agua y residuos en una fábrica de papel.

Fuente: IHOBE.

5.1. FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SU CONTROL

Uno de los efectos ambientales que se producen en la industria de la pasta y el papel es la contaminación atmosférica por generación de compuestos orgánicos volátiles, compuestos malolientes, partículas, etc., dependiendo del proceso de producción llevado a cabo.

A continuación se describen dichas emisiones según los procesos de fabricación de pasta y papel.

5.1.1. Preparación de la materia prima

En esta fase las emisiones a la atmósfera son de escaso volumen y concentración y se remiten únicamente a la emisión de compuestos orgánicos volátiles procedentes del almacenamiento de la madera y astillas.

5.1.2. Elaboración de pastas

A lo largo del proceso de producción de pastas de celulosa se pueden generar emisiones atmosféricas, en forma de partículas y gases, provenientes de la fase de cocción química de la madera, cuya composición depende de los procesos seguidos. Los gases se generan en la

combustión de las leñas negras y contienen partículas y compuestos volátiles de azufre. Estos compuestos de azufre son los responsables de los malos olores característicos de esta industria. Por su parte, las emisiones de partículas se originan en las calderas de recuperación de las leñas negras.

En comparación con los procesos químicos, los procesos mecánicos no emiten a la atmósfera sustancias químicas con base de azufre, por lo que su funcionamiento no va acompañado de malos olores. Las emisiones atmosféricas procedentes de la fabricación de pastas mecánicas son de escaso volumen y concentración, y se remiten únicamente a emisiones de compuestos volátiles procedentes del almacenamiento de la madera y astillas, así como en el tratamiento de éstas con vapor en el caso de pastas termomecánicas.

En el caso de preparación de pastas de papel recuperado, no existe una fuente de contaminación atmosférica importante. Las emisiones proceden, fundamentalmente, del combustible utilizado en la generación del vapor necesario para el secado del papel. Algunas fábricas tienen plantas de incineración de lodos, produciendo el vapor que utilizan en el proceso de secado del producto final. En esta incineración se generan emisiones al aire que son tratadas con secuencias de filtrado y condensación de gases.

El proceso Kraft para la obtención de pasta química, constituye un ejemplo de la reducción del volumen de efluentes generados por tonelada de pasta producida en las últimas décadas, lo que unido a la economía de los reactivos empleados y a la recuperación de reactivos y energía, ha permitido que este proceso se haya mantenido a lo largo de siglo y medio y siga siendo en la actualidad el principal proceso de fabricación de pastas químicas. Dada la difusión de éste método, los comentarios que al respecto siguen se refieren exclusivamente a este proceso.

En la figura 5.1.1 se observa, de forma general, las fuentes y la naturaleza de las emisiones en el proceso de fabricación de pasta kraft.

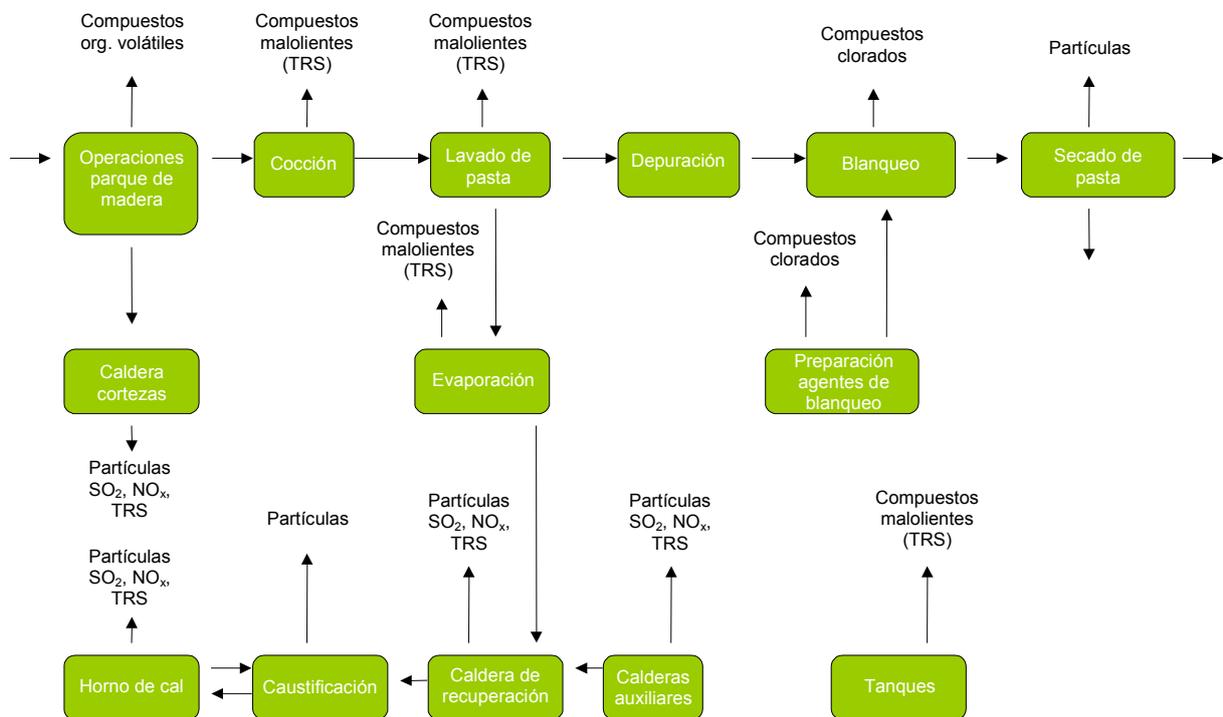


Figura 5.1.1. Emisiones a la atmósfera de una fábrica de pasta kraft. Fuente: BREF.

La mayoría de las emisiones consisten en compuestos de azufre, entre los que se encuentran, dióxido de azufre y compuestos de azufre reducido (TRS), como metilmercaptano, dimetil sulfuro, sulfuro de hidrógeno, etc. Estos compuestos se caracterizan por su mal olor incluso a

concentraciones muy pequeñas (ppb). A continuación se muestran las reacciones que originan el metilmercaptano y el dimetil sulfuro:

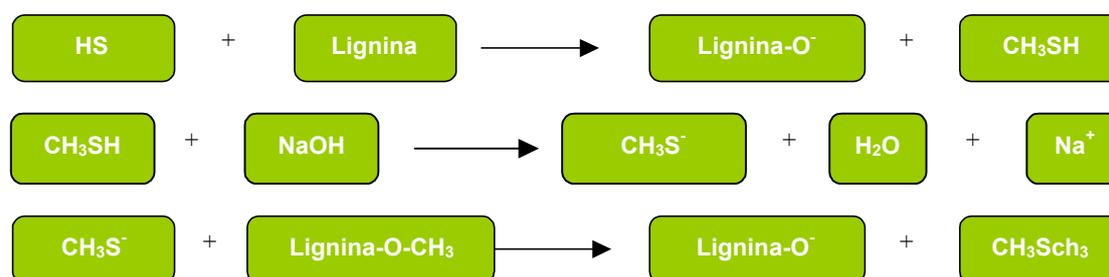


Figura 5.1.2. Formación de metilmercaptano y dimetil sulfuro.

Por las chimeneas de las calderas de vapor también se emiten óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono además de partículas en forma de polvo. En la planta de blanqueo y de las de fabricación y preparación de compuestos clorados puede producirse ocasionalmente fugas de cloro a la atmósfera.

Compuestos de azufre reducido (TRS)

Los gases que contienen TRS, que se producen en la fabricación de pasta kraft, se clasifican en gases de bajo volumen y alta concentración, llamados generalmente LVHC (Low Volume High Concentration) y gases de alto volumen y baja concentración HVLC (High Volume Low Concentration). Los gases de alta concentración son aquellos en los que la concentración de azufre supera el valor de $0,5 \text{ g S/Nm}^3$, en cambio los gases de baja concentración son los que se encuentran por debajo de dicho valor.

Los gases concentrados LVHC provienen del proceso de cocción, evaporación y "stripping" de condensados. La suma de todos ellos representa un volumen aproximado de $25 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de pasta, su contenido en azufre oscila generalmente de 1-3 kg S/t de pasta, siendo mayor en la fabricación de pasta procedente de frondosas que en la de coníferas debido a la diferente estructura de la lignina.

Estos gases se pueden recoger y quemar en el horno de cal o bien en incineradores independientes instalados para tal propósito en calderas auxiliares.

Los gases de baja concentración HVLC, provienen del tratamiento de las astillas con vapor, depuración de la pasta, lavado, caldera de recuperación, caustificación, horno de cal y tanques de almacenamiento de lejías negras. Representan un volumen de $2.000\text{-}3.000 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de pasta con una concentración de $0,2\text{-}0,5 \text{ kg S/t}$ de pasta. Estos gases diluidos pueden ser recogidos y quemados en la caldera de recuperación, en las calderas auxiliares o en el horno de cal siempre que no se mezclen con los gases de alta concentración LVHC, por el alto riesgo de explosión que conlleva la mezcla. El tratamiento de los gases de baja concentración también puede llevarse a cabo en torres de absorción (scrubber).

Compuestos clorados procedentes del proceso de blanqueo y de preparación de productos químicos

Debido a los problemas medioambientales que se generan con la utilización de cloro elemental en los procesos de blanqueo de la pasta, este reactivo se ha ido sustituyendo por dióxido de cloro y, posteriormente, por otros como el peróxido de hidrógeno y el ozono, con los que se consigue también alcanzar el objetivo de blancura final de la pasta que el mercado demanda. De este modo, en la actualidad, se obtienen las pastas ECF y TCF mencionadas con anterioridad. Así como el paso del blanqueo convencional con cloro elemental a blanqueo ECF ha supuesto un avance importante en cuanto a la salvaguarda del medio ambiente, el paso de blanqueo ECF a blanqueo TCF es un tema de discusión permanente. En el caso de pastas ECF las emisiones de AOX son de $<0,4 \text{ kg/t}$ de pasta, si se elimina la primera etapa de lavado después del blanqueo con cloro, mientras que en las pastas

TCF las emisiones de AOX son $< 0,25$ kg/t de pasta. La polémica aumenta puesto que con el blanqueo TCF hay menores emisiones pero las pastas son mas caras, mientras que las pastas ECF tienen un contenido en AOX ligeramente superior pero a tan bajas concentraciones los contaminantes son biodegradables y se pueden depurar mediante tratamiento biológico.

En las fábricas de pasta kraft que emplean dióxido de cloro como agente de blanqueo, se emite a la atmósfera cierta cantidad de compuestos clorados procedentes de la planta de blanqueo y de la sección de preparación del dióxido de cloro.

Incondensados de purga de digestores

Los vapores de purga de digestores contienen sustancias volátiles que no se han retenido en los condensadores: dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, metil mercaptanos, sulfuro de dimetilo, disulfuro de dimetilo. Junto a éstos, y en concentraciones menores, se encuentran vapores de algunos compuestos orgánicos ligeros como etanol y acetona.

Emisiones de la caldera de recuperación

La caldera de recuperación es una de las fuentes de mayores emisiones gaseosas de las fábricas de pasta kraft (figura 5.1.3).

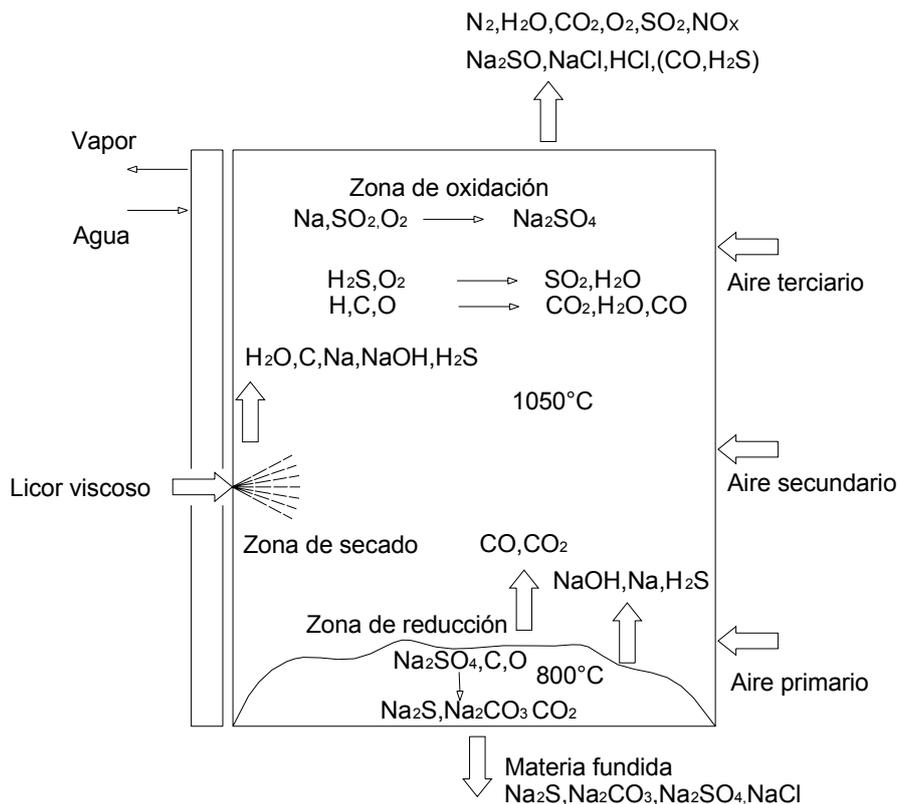


Figura 5.1.3. Caldera de recuperación.

La caldera de recuperación se alimenta con leñas negras concentradas y tiene una triple función:

- Eliminar por combustión las leñas negras, que es la máxima fuente potencial de contaminación.

- Recuperar los reactivos y transformar el sulfato sódico de reposición (de aquí el nombre de proceso al sulfato, cuando los reactivos son sosa y sulfuro sódico).
- Recuperar energía en forma de vapor para turbina de generación eléctrica y vapor de proceso.

El contaminante mayoritario en la emisión es el dióxido de azufre resultante de la reducción parcial del sulfato incorporado para reponer las pérdidas en sodio y azufre en el proceso y el formado por oxidación parcial de los sulfuros contenidos en las lejías negras concentradas. Junto a este contaminante se emiten partículas de los constituyentes inorgánicos, óxidos de nitrógeno y otros gases malolientes derivados del azufre, sulfuro de hidrógeno y trazas de mercaptanos. Estos gases a su salida hacia la atmósfera arrastran a su vez partículas sólidas de carbonato y sulfato sódico que no han sido captadas por los electrofiltros.

La marcha térmica de la combustión en la caldera está determinada por el poder calorífico del combustible alimentado, es decir, de las lejías negras concentradas. La composición de las lejías sobre base seca es de un tercio de materia inorgánica y dos tercios de materia orgánica. A mayor concentración en materia orgánica, se alcanza mayor temperatura en el hogar de la caldera y se obtienen condiciones más favorables para la reducción de las emisiones de compuestos de azufre, aunque a una mayor temperatura se incrementa la concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión.

Las emisiones de dióxido de azufre en la caldera de recuperación se reducen en un 80%, al pasar de unas lejías negras con una concentración inicial de sólidos del 65% al 78%, debido a la mayor temperatura alcanzada en el hogar de la caldera.

Las reacciones en el hogar de la caldera son complejas. Se forman tres zonas caracterizadas por la diferente concentración de oxígeno y temperatura: la zona inferior de la caldera adquiere una atmósfera reductora y una temperatura aproximada de 800°C, en la que los sulfatos se transforman en sulfuros; en la zona intermedia con temperaturas en torno a los 1050°C, se produce la reducción a sulfitos y SO₂; y en la zona superior con ambiente oxidante, las partículas arrastradas por el efluente gaseoso forman sulfatos.

Los rendimientos de generación de vapor de una caldera avanzada de recuperación para alto contenido en sólidos es del 75%. Las lejías negras superconcentradas tienen un poder calorífico de 21,0 GJ/ t.

Los gases de la caldera se depuran de las partículas que arrastran en un precipitador electrostático. Las partículas volantes, constituidas principalmente por sulfato sódico, se incorporan a las lejías antes de su alimentación a la caldera.

Adicionalmente las calderas de recuperación pueden estar equipadas con un lavador de gases, para reducir las emisiones de azufre. El pH de la disolución lavadora se mantiene entre 6 y 7 por incorporación controlada de sosa.

En la tabla 5.1.1. se incluyen los valores típicos de las concentraciones y de las emisiones típicas, en la caldera de recuperación de lejías negras.

Tabla 5.1.1. Valores de emisión típicos de una caldera de recuperación

Dióxido de azufre	
Sin scrubber (absorción de gases) y 63-65% DS de lejía negra	100-800 mg/Nm ³
Con scrubber y 63-65% DS de lejía negra	20-80 mg/Nm ³
Sin scrubber y 72-80% DS de lejía negra	10-100 mg/Nm ³
Sulfuro de hidrógeno	
90% del tiempo	< 10 mg/Nm ³
Óxidos de nitrógeno	
Como NO ₂	100-260 mg/Nm ³
Partículas	
Después del precipitador electrostático	10-200 mg/Nm ³

DS (Sólido disuelto) Fuente: IHOBE.

Emisiones del horno de cal

Los lodos de carbonato cálcico generados en el proceso de caustificación, son calcinados en el horno de cal a elevadas temperaturas, de manera que se regenera el óxido de calcio de acuerdo a la reacción:



Regeneración del óxido de calcio en el horno de cal.

Como ya se ha comentado anteriormente, las emisiones del horno de cal están compuestas principalmente por dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos de azufre reducido.

Tabla 5.1.2. Valores de emisión típicos de un horno de cal

Dióxido de azufre	
Quemando fuel oil sin gases no condensables	5-30 mg/Nm ³
Quemando fuel oil con gases no condensables	150-900 mg/Nm ³
Sulfuro de hidrógeno	
normalmente	< 50 mg/Nm ³
Óxidos de nitrógeno (como NO₂)	
Quemando fuel oil	240-380 mg/Nm ³
Quemando gas	380-600 mg/Nm ³
Partículas	
Después del precipitador electrostático	20-150 mg/Nm ³
Después de la absorción de los gases en scrubber	200-600 mg/Nm ³

Fuente: IHOBE.

Las emisiones de dióxido de azufre del horno de cal provienen mayoritariamente del fuel oil empleado como combustible y de los HVLC, cuando se emplea la caldera en la incineración de estos gases,

mientras que el azufre que entra en el horno de cal con los lodos de carbonato cálcico tiene una importancia secundaria.

Las emisiones de compuestos reducidos de azufre malolientes (TRS) del horno de cal consisten principalmente en sulfuro de hidrógeno.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno dependen del contenido de nitrógeno del fuel y de la temperatura de combustión. Al quemar los gases HVLC, biogás y metanol se incrementan las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Emisiones de las calderas auxiliares

La corteza procedente del descortezado de la madera puede ser empleada como combustible para generar energía. Los rendimientos térmicos de las calderas de cortezas están relacionados con el contenido en humedad que presenta el combustible. El descortezado en seco, y el prensado de las cortezas pueden reducir apreciablemente esta humedad, asimismo, el almacenamiento en las zonas de clima seco, en las que la humedad relativa del aire permite el secado al aire, proporciona un combustible con un 45% de humedad y un poder calorífico entre 7 y 8 GJ/t.

Las emisiones de la caldera de corteza están exentas, o contienen cantidades muy pequeñas, de óxido de azufre, puesto que la corteza prácticamente no contiene azufre. Otro motivo por el cual la emisión de óxidos de azufre es baja es debido a la baja temperatura de combustión, en comparación a la que se produce cuando se queman otros combustibles.

Tabla 5.1.3. Emisiones al aire de calderas de corteza

Unidad	S	NOx	Partículas
Kg/t	0,1-0,2	0,3-0,7	0,1-0,6
mg/MJ	5-15	40-100	20-200

Fuente: IHOBE.

La emisión de partículas cuando se emplean precipitadores electrostáticos es de 20-40 mg/Nm³, y de unos 200 mg/Nm³, cuando se emplean ciclones. Para pequeñas instalaciones se suelen emplear multiciclones, con una eficacia superior a los ciclones, pero siempre muy inferior a la de los electrofiltros.

Las fábricas inicialmente utilizaban en las calderas auxiliares como combustible el carbón, el cual se ha ido sustituyendo progresivamente por el fuel oil o gas. En la actualidad el fuel oil o gas se emplean para completar el abastecimiento insuficiente de corteza.

A continuación se dan valores típicos de emisiones en calderas auxiliares quemando fuel oil.

Tabla 5.1.4. Emisiones al aire de calderas de corteza

Tipo de combustible	mg NOx/MJ	mg S/MJ	Partículas (mg/m ³)
Fuel oil	60-250	25-250	20-200

Fuente: IHOBE.

5.1.3. Fabricación de papel

Las emisiones a la atmósfera en los procesos de fabricación del papel y cartón proceden casi exclusivamente de la generación de vapor-energía eléctrica que se lleva a cabo en la fábrica. De manera que los niveles de emisión a la atmósfera están directamente relacionados a la producción de vapor y electricidad. Las únicas emisiones a tener en cuenta son las debidas a los humos producidos

en la generación de vapor y a los vahos de evaporación expulsados por las campanas de secado de la máquina de papel. En estos vahos se ha podido comprobar un bajo nivel de emisión de COV y, prácticamente, la ausencia de otros contaminantes.

La utilización como combustible de gas natural en centrales de ciclo combinado, con generación de energía eléctrica en turbina de gas y recuperación del calor de los gases de escape de turbinas para generación de vapor empleado, a su vez, en generación eléctrica en turbinas de vapor, y el vapor de contrapresión de las turbinas para las necesidades de calor de la sección de secado de la máquina de papel, proporciona un uso muy eficaz de la energía; en la que la contaminación liberada por unidad de energía producida (electricidad y vapor) es más baja que la que presentan los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica.

La combustión de gas natural, con contenidos muy bajos de azufre, evita los problemas de emisión de SO₂ y de partículas procedentes de quemados. La concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión puede reducirse actuando sobre el diseño de la cámara de combustión de la turbina de gas, de manera que se evite la existencia de zonas de llama oxidante de altas temperaturas, necesarias para la combinación química de los gases del aire, y/o recurriendo a la utilización de sistemas de reducción catalítica de los óxidos de nitrógeno en los gases de escape de turbinas.

5.1.4. Emisiones de dióxido de carbono

El Protocolo de Kioto (1997), que desarrolla el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992), supone un importante reto internacional para lograr la estabilización de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero con el fin de prevenir perturbaciones del clima.

El sector papelerero supone una cierta generación de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂), no obstante mediante el uso de energías renovables, eficiencia energética y cogeneración, se contribuye a reducir las cifras de emisiones de gases de efecto invernadero originadas como consecuencia de su actividad.

La fuente más significativa de emisiones de CO₂ procedentes de la industria de la pasta y el papel tiene origen en la utilización de energía en sus tres vertientes principales: producción de energía (electricidad y calor) en la propia planta o en plantas de cogeneración interconectadas, compras de energía (electricidad) a suministradores externos y usos de combustibles para producción de calor en el proceso.

El siguiente esquema muestra la integración de la producción de pasta-papel-energía y las fuentes de emisión de CO₂. Cabe destacar que las plantas de producción de energía en el sector papelerero están basadas en la Cogeneración:

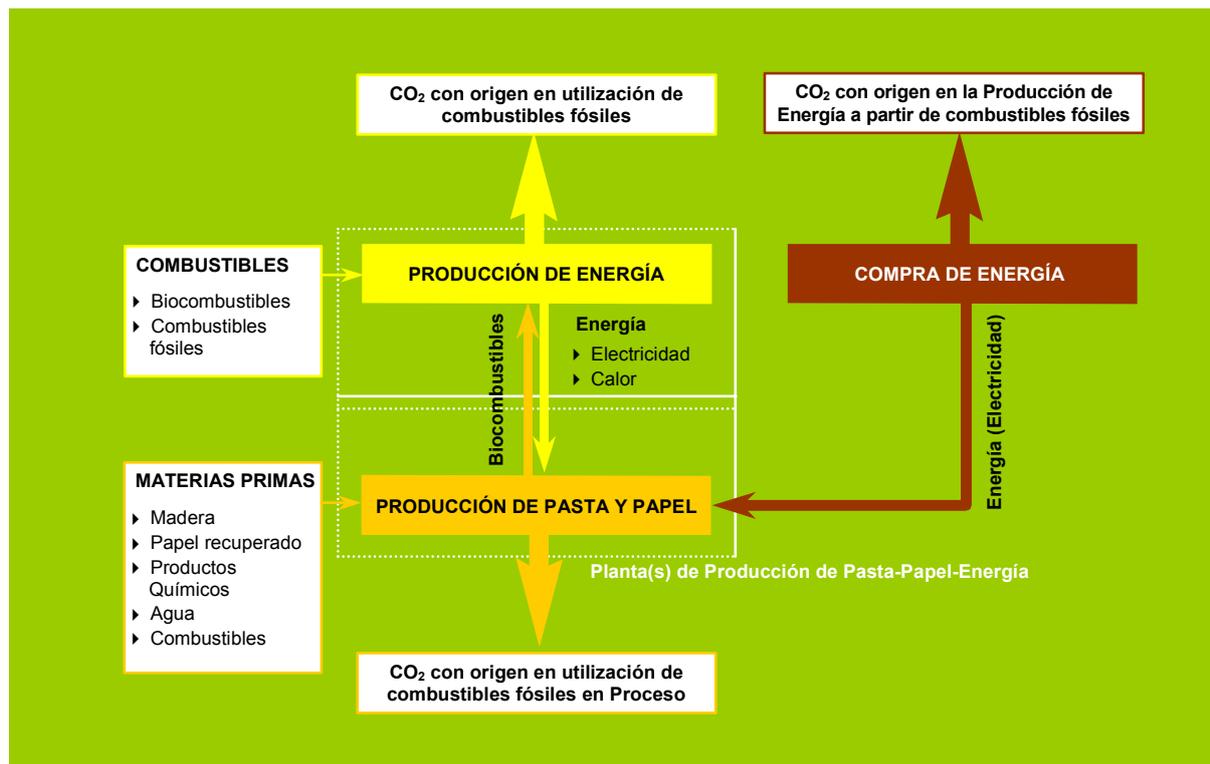


Figura 5.1.4. Integración de la producción de pasta-papel-energía y las fuentes de emisión de CO₂.
Fuente: ASPAPEL.

Las plantas de producción de energía dentro del sector pasta y papel comprenden las siguientes instalaciones (ver descripción en el capítulo 5.5):

- Calderas de combustión de cortezas y restos de madera.
- Calderas de recuperación que utilizan lejías negras como combustible principal.
- Horno de cal.
- Centrales de Cogeneración en sus diferentes combinaciones (ciclos combinados, ciclos simples, motores, etc.).
- Calderas de generación de vapor.

Gran parte de la energía generada en la industria de fabricación procede de la biomasa: caldera de cortezas, finos, rechazos de tamices y caldera de lejías negras; en la oxidación de esta materia se obtiene dióxido de carbono (CO₂).

No obstante, la industria de la pasta y papel, al ser intensiva en la demanda de electricidad y energía térmica en forma de vapor, ha integrado fuertemente tecnologías de cogeneración sus procesos productivos. Diferentes combinaciones, todas ellas ligadas a la producción conjunta de electricidad y vapor, pueden componer las plantas de cogeneración del sector en función de la tipología de planta: turbinas de gas en ciclo simple con calderas de recuperación de calor, ciclos combinados con turbinas de gas y vapor, motores de combustión interna con recuperación de calor, etc.

Las calderas convencionales para generar vapor de agua serán utilizadas en los procesos de secado de la pasta y el papel empleando combustibles fósiles; no obstante, en aquellos centros donde se dispone de plantas de cogeneración, su función principal es la de servir de apoyo como caldera auxiliar a las instalaciones de cogeneración.

El tipo de combustible utilizado depende en gran medida de la internalización de los costes ambientales en el precio del mismo y de la disponibilidad del mismo. La evolución de la industria papelera en la última década, con uso extensivo de combustibles renovables, biomasa y del gas natural, deja un pequeño margen a la vía de la sustitución del combustible para reducir las emisiones de CO₂.

Se detallan a continuación algunas de las medidas que el sector papelero puede realizar para mitigar el cambio climático:

- Protocolo para la imputación de las emisiones directas e indirectas (asociadas a actividades eléctricas) aplicable a la Industria Papelera.
- Fomento de la Cogeneración en el Sector de la Pasta y Papel.
- Plan Sectorial de Eficiencia Energética en el Sector de la Pasta y Papel.
- Plan de Sustitución de Combustibles en el Sector de la Pasta y Papel.
- Elevar la tasa de recuperación y reciclaje del papel.
- Fomento de sumideros forestales sostenibles de crecimiento rápido ligados a la industria de la Pasta y Papel.

Estas medidas contribuirían a la reducción de las emisiones con origen en la actividad papelera en sus propias instalaciones (directas) y así mismo en otros emplazamientos (indirectas). En algunos casos se trata de potencialidades que se plasmarán en realizaciones en la medida en la que se pongan en marcha los instrumentos e incentivos necesarios.

A continuación se muestra como ejemplo una evaluación de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el caso de España, asociadas con la implementación de algunas de las medidas comentadas anteriormente:

Tabla 5.1.5. Reducción de emisiones en España en Kt CO₂/año

Medidas	Reducciones
Fomento Cogeneración Sectorial	630-885
Plan Eficiencia Energética	60-80
Plan Sustitución de Combustibles	191-250
Elevar tasa de recuperación	134-173
TOTAL MEDIDAS CONTEMPLADAS	1.015-1.388 Kt CO₂/año

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

Como se puede observar, la cogeneración conlleva a una gran repercusión en cuanto a la disminución de emisiones. En la tabla 5.1.6. se muestra un ratio aproximado la reducción de las emisiones de CO₂ por año que se ha conseguido con la aplicación de la Cogeneración.

Tabla 5.1.6. Reducción de emisiones en España en Kt CO₂/año

Medidas	Efecto
Implantación de la Cogeneración en el sector	-1.600 Kt CO ₂ /año

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

Las proporciones de reducción de las emisiones de CO₂ debidas a cogeneración pueden establecerse en función del rendimiento térmico. Un aumento del rendimiento térmico del 12%, para la misma producción, origina una reducción equivalente del 12% en la emisión de gases de efecto invernadero.

Asimismo se puede conseguir una importante reducción en la emisión de CO₂ mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética como: sustitución de alumbrado exterior en fabrica, renovación y control de puntos de luz, sustitución lámparas incandescentes por fluorescentes, sustitución de transformadores y cableados, instalación de economizadores en calderas, cambio y ajuste de quemadores de calderas, mejora del aislamiento de líneas de vapor y condensados, etc. La sustitución de combustibles como el carbón, el fuel y el gasóleo por gas natural también contribuye en gran medida a la reducción de emisiones de CO₂.

Por último, las especies de crecimiento rápido utilizadas en la fabricación del papel y procedentes de cultivos forestales gestionados aplicando criterios de desarrollo sostenible, se comportan como sumideros de CO₂. Una hectárea de cultivo de estas especies puede fijar al año hasta 40 toneladas de CO₂, cuatro veces más que los árboles de crecimiento lento (hayas, robles...). Recientes investigaciones demuestran que no existe fijación una vez que el bosque alcanza su madurez, circunstancia por la que las plantaciones con estas especies resultan una oportunidad ambiental.

Así, se establece un ratio aproximado de la potencialidad de reducción de emisiones de CO₂ debido a una gestión forestal sostenible de plantaciones forestales:

Tabla 5.1.7. Reducción de emisiones en España en Kt CO₂/año

Medidas	Reducciones
Incremento de plantaciones forestales sostenibles de crecimiento rápido ligadas a la industria de la Pasta y Papel	4.000 Kt CO ₂ /año

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

Finalmente, se considera que cada tonelada de papel que termina en vertedero, con su descomposición, provocará unas emisiones directas de gases de efecto invernadero equivalentes a unos 200 Kg CO₂/t de papel. El reciclado del papel aporta, por tanto, la mayor proporción de reducción de los gases de efecto invernadero que se evitan al reciclar los residuos urbanos. De manera que, elevando la tasa de recuperación y de reciclaje del papel, se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero que producen en los vertederos los residuos de papel no recuperados.

5.2. FUENTES DE GENERACIÓN DE VERTIDOS LÍQUIDOS Y SU CONTROL

En una fábrica de pasta y papel se generan gran cantidad de vertidos líquidos, cuyo volumen se corresponde aproximadamente con el volumen de agua consumida, salvo la emitida como vahos de secado, pérdidas por vaporización y purgas de vapor, y la contenida como humedad final en el papel.

La disminución del consumo de agua mediante la implementación de circuitos cerrados internos, con reutilización escalonada de las corrientes de agua procedentes de unas etapas del proceso en otras que requieren unas aguas de especificaciones menos exigentes, permite disminuir el caudal de vertido de las aguas residuales, lo que a su vez redundará en una importante economía cuando se proyectan las instalaciones para el tratamiento final de las aguas residuales.

La contaminación de las aguas depende principalmente de las materias primas utilizadas, de los criterios de reducción del consumo de agua seguidos en el proyecto de la instalación, de las condiciones de operación de las etapas del proceso en las que se generan los mayores caudales y

cargas contaminantes de los vertidos, así como del grado de integración de los circuitos de aguas de proceso para lograr operar con circuitos cerrados, con el objetivo de alcanzar la *emisión cero*.

Los parámetros más utilizados para medir el nivel de contaminación de los efluentes son: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el carbono total (TC), el carbono orgánico total (TOC), la salinidad, como conductividad eléctrica (CE), los sólidos en suspensión totales (SST), nutrientes como nitrógeno total y fósforo total y, en el caso específico de la industria de pastas, se miden también los halógenos orgánicos absorbibles (AOX).

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): Mide el consumo de oxígeno necesario para la degradación por vía aerobia de la materia orgánica presente en las aguas. La DBO de los vertidos determina el consumo de oxígeno en el cauce receptor. Cuando el consumo de oxígeno es superior a la capacidad de renovación de cauce, pueden alcanzarse condiciones anóxicas que impiden la vida acuática. La duración del ensayo suele ser de 5 días (DBO₅). Se expresa en mg/l ó ppm.

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Se trata de la cantidad de oxígeno (expresado en mg/l o ppm) consumida durante la oxidación química total de la materia presente en las aguas residuales. Determina la capacidad del vertido para consumir oxígeno cuando es arrojado a las aguas receptoras. Un excesivo consumo de oxígeno es perjudicial para el medio ambiente, ya que reduce la concentración de oxígeno disuelto en el agua de modo que no se puede desarrollar la vida acuática.

SST (Sólidos Suspendidos Totales): Mide la cantidad de partículas que se encuentran en suspensión en el agua. Una carga demasiado grande de SS lleva como consecuencia la desaparición de la vida acuática por obstrucción de las agallas en los peces, o la supresión de las funciones de la fotosíntesis al impedir el paso de los rayos de sol, en el caso de la vegetación.

AOX Compuestos orgánicos halogenados absorbibles: entendidos como la cantidad total de cloro unido a compuestos orgánicos en las aguas residuales. Dichos compuestos existen de manera natural, pero también se forman durante el blanqueo de la pasta química. El exceso de AOX debe limitarse a niveles que no tengan ningún impacto en el medio ambiente, puesto que los compuestos AOX, tales como: dioxinas, cloroformo y compuestos clorofenólicos (entre estos últimos se incluyen los clorofenoles, clorocatecoles y cloroguaiycoles), son muy peligrosos por ser liposolubles, es decir, acumulables en los tejidos grasos de los animales, y por ser altamente tóxicos y difíciles de degradar.

5.2.1. Preparación de la materia prima

Recepción y almacenamiento

Las aguas de lluvia en contacto con la madera en el parque de almacenamiento de maderas, pueden arrastrar consigo partículas sólidas, además de disolver algunos componentes que forman la madera.

Los compuestos lixiviados por las aguas durante el almacenamiento de la madera, dependen de numerosos factores: precipitaciones, temperatura, clase de madera, tiempo de almacenamiento y acción de los saprófitos.

En la tabla 5.2.1 se muestra la composición de los contaminantes solubles de tres muestras obtenidas de un parque en el que se procesa madera de conífera, que pone de manifiesto la gran variabilidad de los parámetros de contaminación.

Tabla 5.2.1. Parámetros del efluente líquido de un parque de madera de tratamiento de coníferas.

Parámetro	Escorrentía 1	Escorrentía 2	Escorrentía 3
DBO ₅ mg/l	150	310	740
DQO mg/l	765	3150	3250
Toxicidad (%v/v) Microtox	20	10	8

Fuente: Industrial Environmental Control. Pulp and Paper; M. Springer. Ed. .Tappi , 3ª edición, 2002.

Las escorrentías del parque de madera se recogen en el estanque de tormentas y se incorporan en el sistema general de tratamiento de aguas residuales de la planta, realizando previamente un tratamiento de eliminación de sólidos (arenas, tierra, fragmentos de corteza y astillas). El caudal influente al estanque de tormentas se determina a partir de la precipitación. Como estimación del dimensionado, se considera un volumen de 300 m³ para un parque de madera de 1Ha y una precipitación media de 30 mm.

$$\text{Caudal(m}^3\text{/h)} = \text{precipitación (mm/hora)} \times 10^{-3} \times \text{Superficie (m}^2\text{)} \times \text{coeficiente de escorrentía}$$

Siendo el coeficiente de escorrentía igual a 1 en superficies libres de troncos, pavimentadas y con pendiente orientada hacia los colectores. Este criterio conservador puede aplicarse a todo el parque, sin tener en cuenta la absorción y evaporación de agua en las pilas de troncos.

A partir de una determinada precipitación horaria, estimada a partir de los datos de precipitación máxima, el exceso de agua se conduce directamente a vertido, estando dicho efluente formado por aguas pluviales limpias.

Las plantas anuales son más sensibles al deterioro por la acción combinada de los agentes atmosféricos y de los microorganismos, por lo que el almacenamiento de estas materias primas, se efectúa, generalmente, apiladas en almacenes cubiertos.

Descarga y transporte interno

La descarga de troncos, desde las pilas hasta el sistema de alimentación de las instalaciones de lavado y descortezado, se efectúa por medio de moto-cargadores de pinzas o tenazas que descargan mediante planos inclinados, desde los cuales se desplazan los troncos a transportadores transversales, que a su vez alimentan al canal de transporte o a los transportadores mecánicos lineales.

En el caso de emplear canales de transporte, el agua de circulación, que recorre el canal en circuito cerrado, impulsada por bombas que crean la corriente en el canal, adquiere con el tiempo una carga contaminante semejante a la de las escorrentías. En ellas junto a extractivos de la madera hay una alta carga en sólidos en suspensión: tierra, fragmentos de corteza, astillas, etc.; por lo que la purga de aguas del canal ha de ser tratada antes de su vertido.

Descortezado

La corteza tiene un importante efecto en la blancura y, en general, en la calidad del papel. Por este motivo, previamente al procesado de la madera para la fabricación de pastas celulósicas se ha de proceder a su descortezado. La planta de descortezado es una de las mayores superficies de contaminación de las operaciones previas de preparación de la materia prima. En esta planta se consume agua y se genera un efluente tóxico para la vida acuática con un alto contenido en nutrientes, fibras y compuestos orgánicos que consumen oxígeno como por ejemplo ácidos resínicos, ácidos grasos, etc.

Existen diferentes técnicas de descortezado, las cuales se clasifican en función de la utilización de agua:

- **Descortezado húmedo**, en el que los tambores o cilindros rotativos están parcialmente sumergidos en agua. El agua se recicla parcialmente, y se purga una cierta proporción para arrastrar las cortezas y evitar una elevada concentración de sólidos en suspensión y materia orgánica en el circuito. El consumo de agua depende del nivel de recirculación a que se opere, los valores oscilan entre 0,6 a 2 m³ de agua por estéreo de madera (1 m³ de volumen aparente de madera) o de 3 a 10 m³ de agua por tonelada de pasta producida.
- **Descortezado semi-húmedo**, en el que se emplean duchas o rociadores internos. El agua arrastra cortezas e impurezas que salen por las ranuras del tambor.
- **Descortezado seco**, el agua sólo se emplea caliente, a una temperatura en torno a los 40 °C, para el deshielo de los troncos en climas fríos y se recircula con una mínima generación de aguas residuales y contaminación hídrica. Produce cortezas con un menor contenido en humedad, y por tanto un mayor poder calorífico cuando se emplean en la caldera de cortezas.

Al igual que en el descortezado, el prensado de las cortezas (con el objetivo de eliminar el agua para su posterior combustión en la caldera de cortezas) genera un efluente tóxico para la vida acuática. En la tabla 5.2.2 se puede observar el grado de toxicidad de los efluentes en función del tipo de descortezado.

Tabla 5.2.2. Ecotoxicidad de los efluentes del descortezado húmedo

Parámetro	Descortezado húmedo y prensa de cortezas	Descortezado seco y prensa de cortezas
DBO ₅ mg/l	3.500	250
DQO mg/l	6.500	600
Toxicidad (%v/v) Microtox	4	10
Toxicidad (Uta) Microtox	25	10

Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Entre las medidas reductoras del consumo y de los vertidos hídricos se propone la sustitución de descortezado húmedo por el descortezado seco, medida adoptada ya por numerosas plantas papeleras en la UE. En el descortezado húmedo se usa alrededor de 0,6-2 m³ de agua por m³ de madera, siendo este valor de 0,1 a 0,5 m³ en el descortezado seco.

Se ha comprobado que los tratamientos biológicos son muy eficientes para eliminar la toxicidad de dichos efluentes.

La carga de contaminación típica de los efluentes de la planta de descortezado, previamente al tratamiento biológico, se resume en la tabla 5.2.3.

Tabla 5.2.3. Carga de contaminación en efluentes de la planta de descortezado sin tratamiento biológico previo

Técnica de descortezado	Volumen de efluente (m ³ / m ³ de madera) (m ³ / t de pasta)	DBO ₅ (Kg / m ³ de madera) (kg/ t de pasta)	DQO (kg / m ³ de madera) (kg/t pasta)	Fósforo total (g / m ³ de madera) (g/t de pasta)
Descortezado húmedo y prensa de cortezas	0,6-2 3-10	0,9-2,6 5-15	4-6 20-30	5-7 25-35
Descortezado seco y prensa de cortezas	0,1-0,5 0,5-2,5	0,1-0,4 0,5-2,5	0,2-2 1-10	2-4 10-20

Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

5.2.2. Elaboración de pastas

Pastas mecánicas

En los procesos de fabricación de pastas mecánicas y termomecánicas el agua interviene en circuito cerrado para mantener la temperatura. Las operaciones principales de generación de efluentes para este tipo de procesos son la preparación de la materia prima, el lavado y el blanqueo.

La carga de contaminación típica de estos vertidos líquidos, medida como DBO₅ y DQO, se resume a continuación:

Tabla 5.2.4. Rango de valores de DQO y DBO₅ de los vertidos líquidos en la fabricación de pastas mecánicas

Tipo de pasta	DQO (Kg/t AD)	DBO ₅ (Kg/t AD)
Pasta mecánica tradicional (SGW)	20 - 30	8 -10
Pasta mecánica de refinados (RMP)	40 - 60	10 - 15
Pasta Termomecánica (TMP)	50 - 80	13 - 22

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gobierno Vasco.

Pasta química

Los consumos de agua y las características de vertidos de las fábricas de pasta química son un problema medioambiental que cada día cobra mayor importancia.

Al igual que en el caso anterior a continuación se describe la generación de vertidos líquidos de una fábrica de pasta kraft, por ser éste el método más usado para fabricación de pastas químicas.

En la figura 5.2.1 se muestran las fuentes de emisión de vertidos líquidos procedentes de una fábrica de pasta kraft blanqueada, incluyendo vertidos accidentales.

La problemática de vertidos líquidos de este tipo de plantas está dominada por el consumo de oxígeno de las sustancias orgánicas disueltas, medidas como DQO y DBO. Los efluentes de plantas

de blanqueo en las que se emplean productos químicos derivados del cloro, contienen además compuestos organoclorados medidos como AOX.

También se encuentran en este tipo de efluentes extractivos y ácidos resínicos o incluso pequeñas concentraciones de metales procedentes de la madera almacenada, compuestos nitrogenados o fosforados y, en ocasiones, sustancias coloreadas.

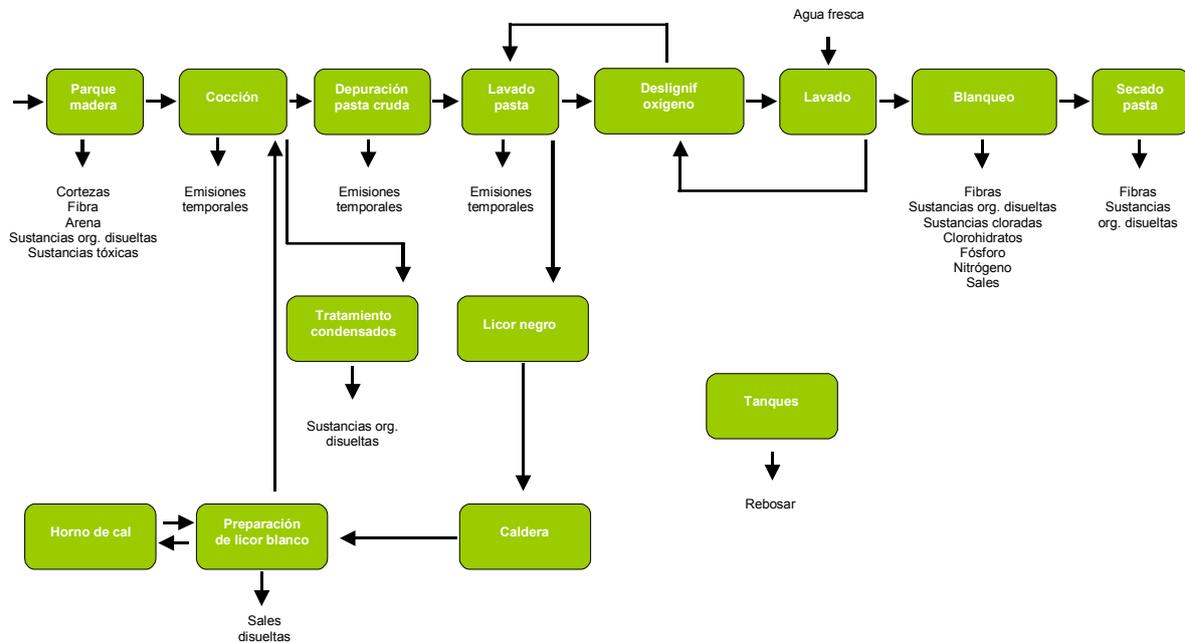


Figura 5.2.1. Diagrama de bloques de generación de vertidos de una fábrica de pasta Kraft.

Siguiendo la secuencia del proceso de elaboración de pasta kraft, los principales efluentes generados corresponden a:

- Derrames y reboses del proceso y aguas de limpieza de equipos e instalaciones
- Lejías diluidas del lavado de pasta cruda
- Condensados
- Descargas de la planta de blanqueo

Derrames y reboses del proceso y aguas de limpieza de equipos e instalaciones

Aproximadamente, entre una tercera parte y la mitad de la DBO y de los TSS presentes en los vertidos pueden atribuirse a estas causas.

Estas pérdidas son atribuibles a una gran variedad de factores, como roturas de equipos, mantenimiento de rutina, paradas y arranques programados, fallos de suministro de energía y cambios en el proceso o tipo de pasta.

Los derrames y reboses del proceso se producen de modo accidental y son difícilmente evaluables. Algunos pueden tener una carga contaminante muy elevada, de manera que, aunque su volumen sea habitualmente pequeño, pueden contribuir significativamente al aumento de la concentración de contaminantes en el efluente de planta.

Las pérdidas por derrames de fibras y de lejías negras pueden tener lugar en los digestores, tamices y durante el lavado. Las pérdidas de lejías blancas, lejías verdes y lejías diluidas tienen lugar en la

planta de caustificación. Las pérdidas en los procesos por derrames se cuantifican entre 2 y 10 kg de DQO por tonelada de pasta.

La instalación de un sistema de recogida de los derrames, su almacenamiento, su caracterización y su reintegración a distintos puntos de proceso, en función de sus composiciones o del grado en que se hayan contaminado y mezclado entre sí, es una práctica que contribuye a la reducción de la contaminación de las corrientes que se envían a la planta de tratamiento de aguas.

La reducción de las pérdidas, mejorando el control y mantenimiento de las instalaciones, y la reintegración al proceso de las que inevitablemente puedan producirse, mejora los rendimientos en fibras y reactivos, reduce los costes de tratamiento de las aguas residuales y mejora la calidad de los efluentes de la fábrica.

Entre las técnicas aplicables cabe citar:

- Limpieza periódica de los evaporadores para evitar la formación de incrustaciones. El procedimiento consiste en hacer circular agua caliente limpia. Ésta, una vez concluida la limpieza, se recoge en un depósito de acumulación para incorporarla a lo largo del tiempo en los evaporadores.
- Almacenamiento de regulación para lejías negras concentradas, lejías negras diluidas y planta de recuperación de productos químicos para evitar reboses.
- Compartimentar las distintas unidades, para evitar reboses, si no se pueden evitar por otros procedimientos.
- Instalar sensores de vertido de tipo conductivo para monitorizar determinadas áreas críticas.
- Entrenamiento del personal para evitar vertidos y adoptar planes de actuación en caso de que se produzcan.
- Instalación de una balsa de seguridad para recoger vertidos accidentales, antes del tratamiento biológico.
- Actualización del control de procesos para aumentar la operatividad de la planta y evitar sobreflujos.

Para minimizar las pérdidas, es necesario que la fábrica desarrolle un sistema de recogida segregada de vertidos por pérdidas. Los derrames industriales de las plantas Kraft pueden clasificarse en tres categorías: vertidos con bajo contenido en sólidos en suspensión (tales como agua de refrigeración, aguas de blanqueo y efluentes de condensados de los evaporadores), que no requieren clarificación; vertidos de alto contenido en sólidos en suspensión (como los efluentes de los filtros de lavado, efluentes de la máquina de papel en las plantas integradas y efluentes del parque de maderas), este tipo requiere clarificación; y por último, los vertidos concentrados (tales como reboses de lejías negras concentradas que deben acumularse en un depósito para integrarlas paulatinamente en el proceso).

Lejías diluidas del lavado de pasta cruda

La operación de lavado de la pasta tiene por objeto la recuperación de la mayor cantidad posible de productos químicos y sustancias orgánicas disueltas en la lejía residual de cocción.

Las aguas de lavado de pasta constituyen una de las principales corrientes de proceso y son causa de importantes vertidos contaminantes cuando los efluentes procedentes de las últimas etapas del lavado no pueden integrarse en el sistema de concentración mediante evaporadores múltiples y concentradores de lejías negras. La concentración por evaporación de las aguas de lavado está limitada por el excesivo consumo de energía y la elevada inversión necesaria. Así, por tanto, puesto que el lavado no es una operación con rendimiento del 100%, cierta cantidad de productos químicos y compuestos contaminantes son finalmente vertidos.

El empleo de agua caliente (50-60 °C) mejora la eficacia del lavado en los tamices rotatorios y prensa por reducción de la viscosidad del filtrado y por aumento de la solubilidad de los compuestos eliminados en las aguas. No obstante, una temperatura mayor aumenta excesivamente la presión de

vapor del agua y origina problemas en la obtención de vacío en los sistemas de drenaje de las pastas.

El lavado se lleva a cabo mediante el contacto de pasta y agua a contracorriente, incorporando el agua limpia en la última etapa. El agua de la primera etapa se une a las lejías negras procedentes del proceso de digestión y pasa al sistema de recuperación de las mismas.

La eficacia del lavado queda definida por el factor de desplazamiento de cada etapa:

$$DR = (Sv - Se) / (Sv - Sw)$$

Donde:

DR: factor de desplazamiento.

Sv: fracción de sólidos disueltos en las lejías que entran en la etapa con la pasta.

Se: fracción de sólidos disueltos en las lejías que salen en la pasta lavada en la última etapa.

SW: fracción de sólidos disueltos en las aguas de lavado que entran en la etapa.

Evidentemente, se alcanza un factor de desplazamiento igual a 1 cuando la concentración de sólidos en las aguas que contiene la pasta lavada es igual a la concentración del agua de lavado.

Para la comparación de diferentes esquemas de lavado, se emplea el factor de eficacia Nordén, que compara el número de etapas de mezcla que proporcionan el mismo resultado que el lavador o la secuencia de lavado considerada. Para comparar la eficacia de lavado, se considera que la consistencia de la pasta es del 10%.

Tabla 5.2.5. Factor de eficacia Nordén de diversos sistemas de lavado

Equipo	Factor de eficacia Nordén
Lavador de tambor único	2,5-4
Lavadores de tambor filtrante	2-2,5
Difusores de una etapa	3-5
Difusores de dos etapas	6-10
Zona de lavado de los digestores continuos Kamyr:	
1 hora 30 minutos	4-6
3 horas	7-11
4 horas	9-14
Difusión/extracción	1,5-2

Fuente: Water management in Paper Mills, F. Zippel , Voith Paper 1999.

El lavado de las pastas influye decisivamente en la calidad de la pasta final no blanqueada y en la aptitud para el blanqueo de la pasta que se destina a este proceso. Un correcto lavado reduce el consumo de reactivos de blanqueo y mejora la calidad de los efluentes de la planta de blanqueo.

Condensados

Se obtienen condensados de vapores en distintas partes del proceso de fabricación de pasta kraft, a continuación se resumen los de mayor importancia:

- Condensado de vapor de purga en los digestores del proceso Kraft, se condensa dando lugar a una fase orgánica y a una fase acuosa fuertemente contaminada por materias volatilizadas en el digestor, solubles en agua o emulsionadas.
- Condensado de vapores procedentes del proceso de concentración de las lejías negras, se generan vapores de sustancias orgánicas y una fase acuosa contaminada por las materias solubles o emulsionadas.
- Condensados de vapores desprendidos del depósito de descarga (tanque de soplado) de las pastas y lejías de cocción de los digestores continuos, dando lugar a una corriente de aguas residuales que contiene materia volátil en disolución y una fase orgánica constituida fundamentalmente por terpenos y trementina (en el caso de coníferas).
- Condensados de los vapores generados en la etapa de descarga de los digestores, al pasar la materia en digestión desde la presión de operación del sistema a la presión atmosférica de descarga.

Estos condensados están constituidos básicamente por metanol, etanol, ácidos orgánicos derivados del azufre (TRS), trementina (solamente en el caso de maderas coníferas como materia prima), y en menor cantidad terpenos, fenoles, ácidos resínicos y ácidos grasos, así como compuestos nitrogenados.

En la siguiente tabla se muestran las composiciones típicas de los condensados:

Tabla 5.2.6. Composiciones típicas de los condensados

Contaminante	Condensado del venteo de digestor	Condensado del tanque de soplado	Condensado del Flash del digestor continuo	Condensado de los evaporadores de lejías negras
H ₂ S (ppm)	30-270	10-250	250	1-90
CH ₃ SH (ppm)	20-5.300	40-340	70	1-30
(CH ₃) ₂ S (ppm)	15-7.400	40-190		1-10
(CH ₃) ₂ S ₂ (ppm)	5-4.100	2-210		1-50
Metanol (ppm)	1.300-12.000	250-9.100	670-8.900	180-700
Etanol (ppm)	90-3.200	20-900		1-190
Acetona (ppm)	8-420	5-95		1-15
Metil-etil cetona (ppm)	27			1-3
Terpenos (ppm)	0,1-5.500	0,1-1.100	100-25.000	0,1-150
Fenoles (ppm)	12			
Guayacol (ppm)				1-10
Ácidos resínicos (ppm)				28-230
DBO ₅ (ppm)	800-11500	720-9200	9.2-9.6	6-1100
pH	9,5			
Sólidos en suspensión (ppm)				30-70
Sodio (ppm)				4-20

Fuente: Water management in Paper Mills, F. Zippel , Voith Paper 1999.

Destaca la gran variabilidad de los valores. Los extractivos orgánicos dependen en gran medida del tipo de madera, altos para las coníferas y menores para frondosas.

Descargas de la planta de blanqueo

La planta de blanqueo es el área que descarga mayor carga contaminante de las fábricas de pasta. El volumen y concentración de esta carga depende de varios factores, siendo los más importantes, el tipo de madera, el número Kappa de la pasta (contenido en lignina), las pérdidas en el lavado de blanqueo, la secuencia y dosis de productos químicos, el grado de blancura final deseado y el cierre de circuitos de la propia planta.

El volumen de agua consumido en las plantas de blanqueo oscila entre 20-40 m³/t.

El blanqueo ECF (libre de cloro elemental) y el blanqueo TCF (libre de cloro total) favorece un mayor aprovechamiento de los filtrados de la planta de blanqueo con reducción del consumo de agua y el cierre de circuitos, lo que resulta técnicamente desaconsejable cuando se emplea cloro elemental por su alto poder corrosivo.

Por otra parte, teniendo en cuenta que una unidad Kappa representa 2 kg DQO/t de pasta, las técnicas modernas de Deslignificación Extendida en la Cocción y Deslignificación o Blanqueo con Oxígeno, con las que se consigue reducir considerablemente el nº Kappa de la pasta, representan un avance importante en la disminución de la carga DQO a la entrada de la planta de blanqueo, lo que revierte en un ahorro en productos químicos de blanqueo y menor cantidad de AOX generados.

Los valores típicos de descarga de las plantas de blanqueo medidos como DQO, oscilan de 15 a 65 kg DQO/t de pasta.

Tabla 5.2.7. Medida de vertidos después de un tratamiento biológico

Método de cocción	Deslig. Oxígeno / Blanqueo con ozono	Pasta de frondosas		Pasta de coníferas	
		Kappa	DQO (Kg/ t AD)	Kappa	DQO (Kg/ t AD)
Cocción convencional	---	15-18	30-38	28-30	60-63
Cocción convencional	Deslig. Oxígeno	8-10	20-25	14-15	30-32
Cocción modificada	---	14-16	30-34	20-24	42-48
Cocción modificada	Deslig. Oxígeno	9-10	13-15	12-13	25-28
Deslignificación extendida	---	12-13	23-26	15-16	30-32
Deslignificación extendida	Deslig. Oxígeno	8-10	12-15	10-12	15-18
Cocción convencional	Deslig. Oxígeno + Blanqueo con ozono	N.I.	3	N.I.	6

N.I. Información no disponible. Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Los valores de AOX para plantas sin consumo de blanqueo de cloro elemental pueden oscilar entre 0 a 2 kg AOX/t de pasta.

Las siguientes tablas muestran ejemplos de descarga de sustancias orgánicas cloradas, medidas como AOX, para diferentes secuencias de blanqueo según si la materia prima es de coníferas (tabla 5.2.8) o frondosas (tabla 5.2.9).

Tabla 5.2.8. Ejemplos de diferentes secuencias de blanqueo de pastas coníferas y la correspondiente descarga de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX

Método de cocción	Secuencias de blanqueo	Kappa	ClO ₂ (Kg/t)	AOX (Kg/t)
Cocción convencional	D(EOP)DED	30	95	2
Cocción conv. + Deslig. oxígeno	D(EOP)DED	15	60	0,8
Cocción modif. + Deslig. oxígeno	D(EOP)D(EP)D	12	30	0,3
Cocción conv. + Deslig. oxígeno	ZD	N.I.	10	0,1
Cocción modif. + Deslig. oxígeno	ZP	N.I.	0	0

N.I. Información no disponible Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Nota: "D" Dióxido de cloro; "E" Extracción; "O" Oxígeno; "P"Peróxido; "Z" Ozono.

Tabla 5.2.9. Ejemplos de diferentes secuencias de blanqueo de pastas frondosas y la correspondiente descarga de sustancias orgánicas cloradas medidas como AOX

Método de cocción	Secuencias de blanqueo	Kappa	ClO ₂ (Kg/t)	AOX (Kg/t)
Cocción conv. + Deslig. oxígeno	D(EO)DED	13	40	0,5
Cocción modif. + Deslig. oxígeno	D(EO)DED	10	30	0,3
Cocción conv. + Deslig. oxígeno	ZD	N.I.	5	0,1
Cocción modif. + Deslig. oxígeno	ZP	N.I.	0	0

N.I. Información no disponible Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Nota: "D" Dióxido de cloro; "E" Extracción; "O" Oxígeno; "P"Peróxido; "Z" Ozono.

Pastas a partir de papel recuperado

El volumen de vertidos de las pastas procedentes de papel recuperado está fuertemente ligado al tipo de papel o cartón recuperado, los requerimientos del producto final (clase y calidad del papel), la tecnología utilizada y las condiciones de la instalación. Los aditivos utilizados y el control del proceso tienen también influencia.

La contaminación del agua se produce en las operaciones de depuración, destintado-flotación (en su caso) y recuperación de las fibras. Las aguas de vertido procederán por tanto de:

- Los rechazos de las depuraciones
- Los filtrados de lavado y espesado
- Los sobrantes de aguas blancas

Estas aguas contaminadas, una vez sedimentadas y clarificadas en la propia fábrica, serán vertidas al cauce del río tras un tratamiento previo (primario y biológico) o a través de una planta pública.

Se mide la carga contaminante de estos efluentes según los siguientes parámetros:

- **DQO** (Demanda Química de Oxígeno): Su emisión está originada por materias primas y aditivos. El destintado y el blanqueo aportan una parte sustancial del DQO.
- **DBO₅** (Demanda Biológica de Oxígeno): su origen es el mismo que en la demanda química.
- **Nutrientes**: para una efectiva operatividad del tratamiento biológico se necesita una adición de nutrientes en forma de nitrógeno y fosfato, por lo que en las aguas vertidas se encontrarán residuos de estos nutrientes.
- **Metales pesados**: Su concentración es mínima. La posible existencia de cobre y zinc tiene como fuente las tintas de impresión.

A continuación se presentan unas tablas de medidas de vertidos de una fábrica de pasta de papel recuperado tras un tratamiento previo y tras un tratamiento biológico.

Tabla 5.2.10. Medida de vertidos de una fábrica tras un tratamiento primario

Parámetro de control	Pasta recuperada Sin destintado		Pasta recuperada Con destintado	
	mg/l	Min/max	mg/l	Min/max
DBO ₅	1900		550	
DQO	3800	(570/9.000)	1100	(440-1.900)
Kj-N	16	(10/40)	20	(13-25)
Caudal	3,6 m ³ /t	(0,4-6,6)m ³ /t	15 m ³ /t	(9-39) m ³ /t

* Kj-N es la suma del nitrógeno orgánico y del amoniacal. Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gobierno Vasco.

Tabla 5.2.11. Medida de vertidos tras un tratamiento biológico

Parámetro de control	Pasta recuperada Sin destintado		Pasta recuperada Con destintado	
	mg/l	Min/max	mg/l	Min/max
DBO ₅ antes de tratamiento *	1800		770	
DBO ₅ después de tratamiento	10	(3-28)	9	
DQO antes de tratamiento *	3200		1900	
DQO después de tratamiento	150	(60-270)	290	
Kj-N	5.6	(3-13)	7.8	
TSS	25	(17-40)		
Caudal	5.7 m ³ /t	(3.1-11) m ³ /t		11 m ³ /t

*Los datos del efluente de entrada de DBO y DQO no se encontraban disponibles, por lo tanto, los datos del efluente de entrada se calculan en base a los datos de la carga de agua residual de una fábrica sin destintado y otra con destintado. Fuente: IHOBE.

Control de la contaminación de las aguas en la elaboración de las pastas

Aparte de la reducción de las aguas de lavado de pasta en el proceso Kraft y de los derrames en las distintas operaciones, cuyos aspectos principales ya han sido expuestos, cabe considerar otras corrientes, la reutilización de las cuales contribuye a la reducción de los efluentes finales.

En la siguiente tabla se resumen los efluentes que pueden reintegrarse en el proceso, así como los intervalos de los volúmenes de agua recuperados por tonelada de pasta. Las cifras consignadas son sólo indicativas, la incorporación de cada una de las corrientes requiere un estudio analítico previo, así como el estudio de su influencia a lo largo del proceso, con el fin de detectar los problemas, especialmente los de acumulación a largo plazo, en los circuitos de aguas de proceso.

Tabla 5.2.12. Reutilización de efluentes de distintas unidades del proceso Kraft

Tipo de efluente	m ³ /t	Lugar de utilización
Condensado del vapor de soplado, directo	3,7-22,4 Media 8,6	Lavado de pasta cruda Tamices o tambores de lavado Suministro de agua caliente Lavado de lodos Disolución de aditivos
Condensado del vapor de soplado, indirecto	1,3-1,5	No utilizable
Agua de refrigeración del condensador de vapores de soplado	3,7-22,4 Media 8,6	Lavado de pasta cruda Lavado de pasta blanqueada Tamices o tambores de lavado Suministro de agua caliente Lavado de lodos Disolución de aditivos
Decantador de trementina	0,04-0,65 Media 0,2	Duchas sobre tamices de separación de nudos. Duchas sobre lavadores de pasta cruda
Agua de refrigeración del condensador de trementina	2,5-9	Suministro de agua caliente- Lavado de tamices
Condensado evaporadores	2,5-100 Media entre 5-7,5	Lavado de pasta cruda Lavador de gases del horno de cal Preparación de lejías Limpieza del parque de maderas
Efluente del evaporador barométrico	30-57	Transporte de las cenizas volantes de la caldera de cortezas Reciclado a través de la torre de enfriamiento
Cierre del evaporador, descarga desde condensadores de superficie	1,5-5,5	Lavado de pasta cruda

Fuente: Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, U.S. Environmental Protection Agency.

5.2.3. Fabricación de papel

Los vertidos líquidos en las fábricas de papel se generan principalmente en la depuración de la pasta y en el purgado del agua blanca del proceso.

La pasta de papel se depura antes de llegar a la caja de entrada de la máquina de papel. El efluente de la depuración que suele contener arena, cargas minerales, incocidos e incluso fibra, es conducido al tratamiento de efluentes o se descarga con los lodos sin deshidratar.

La suspensión fibrosa que llega a la máquina de papel es drenada en la mesa y en la sección de prensas. A toda esta agua blanca drenada se añade también el agua (fresca o clarificada) de las regaderas de tela y fieltros. Esta aportación produce un sobrante de agua blanca que se descarga al efluente a través de un recuperador de fibras previo.

La cantidad excedente depende del grado de cierre del circuito y contiene materia coloidal y disuelta. Esta materia está formada fundamentalmente por sólidos en suspensión, materia orgánica disuelta, sales de calcio y otras sales.

Actualmente existe una cierta tendencia a establecer como límite de vertido la carga másica de contaminante por unidad de producción, más que como concentraciones máximas de contaminante; por lo que se prima a aquellas instalaciones de menor consumo específico de agua.

Tabla 5.2.13. Límites de vertido final para fábricas de papel, en Francia. Valores máximo de las medias mensuales en kg/tAD

Producto final	Plantas nuevas			Plantas existentes		
	TSS	DBO ₅	DQO	TSS	DBO ₅	DQO
Plantas de capacidad inferior a 60tAD/día				2,0	4,0	8,0
Papel sin carga, con más del 90% de fibra virgen	0,7	0,7	2,5	1,5	1,0	4
Papel con carga o estucado, con más del 90% de fibra virgen	0,7	0,7	3,0	1,5	2,0	8,0
Papel sin carga, con más del 90% de papel reciclado	0,7	0,7	3,0	1,5	1,5	6,0
Papel con cargas o estucado, con más del 90% de papel reciclado.	0,7	0,7	4,0	1,5	2,0	8,0
Fluting				1,9	1,9	8,0

Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Control de la contaminación de las aguas en la fabricación del papel

La tendencia al cierre de los circuitos de agua plantea problemas diferentes, en función de las materias primas empleadas, de las características de la instalación y de la calidad de los productos que se pretende obtener. En la práctica hay un particular nivel de contaminación en los circuitos de agua, que es aceptable para cada máquina, sin causar defectos inaceptables. Cuando este nivel de contaminantes se ha excedido, se detecta como un mal funcionamiento y debe aplicarse algún procedimiento adicional para tratar el agua, a fin de alcanzar nuevamente un nivel aceptable y rebajar el grado de contaminación.

El cierre de los circuitos, o la reducción del caudal de purga de los mismos, origina la acumulación de los contaminantes, como la materia disuelta y coloidal, en las aguas de proceso.

En productos de baja calidad, el problema se presenta como aumento de la salinidad que puede alcanzar altos valores. En productos de más alta calidad, la acumulación de contaminantes origina problemas de depósitos de materia adherente, agujeros, manchas o suciedad.

En estos casos, es necesario retirar del circuito una cantidad igual a la aportada, mediante vertido o mediante tratamiento interno, que actúa como riñón, eliminando de la corriente tratada las materias que alcanzan un nivel inaceptable, en relación al proceso o al producto.

Los métodos que se aplican como tratamientos internos son filtración, sedimentación y flotación por aire disuelto (D.A.F.), con la utilización de agentes químicos de tratamiento.

Un paso más en el fomento del ahorro de agua es la incorporación, generalmente como etapa de final del tratamiento de las corrientes de proceso en de los vertidos, la tecnología de membranas desde la microfiltración, hasta la ósmosis inversa, con el fin de alcanzar máximas reducciones en la eliminación de la materia disuelta y coloidal en estas corrientes.

Completa gestión del agua

El objetivo de la completa gestión del agua es el reciclaje máximo en los circuitos de agua. No significa ello el cierre completo, sino el equilibrio entre la calidad del producto, el buen funcionamiento de las máquinas y la calidad del agua de proceso mediante la mejor tecnología disponible. La meta es reciclar todo aquel material útil de nuevo al proceso de fabricación, reutilizar el agua en la circulación de aguas de proceso y minimizar el impacto ambiental.

Paralelamente, aporta diferentes ahorros: la disminución del consumo y del coste de agua bruta, la disminución de los costes de inversión y de mantenimiento operativo de tratamiento de efluentes, el mejor funcionamiento de la máquina de papel/cartón y los menores problemas de calidad en el producto final.

5.3. FUENTES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y SU CONTROL

En la industria de fabricación de pasta y papel se generan residuos sólidos en la mayoría de los procesos llevados a cabo; así, por ejemplo, se generan residuos sólidos en la preparación de la materia prima (residuos de madera y cortezas procedentes del parque de almacenamiento, descortezado y generación de astillas), en la elaboración de la pasta (fibras del proceso, lodos de destintado, cenizas procedentes de la combustión, etc.), en la fabricación del papel, y en los tratamientos biológicos de la planta de depuración de aguas (lodos orgánicos).

Las características de los residuos sólidos en la elaboración de pasta y papel varían considerablemente de una fábrica a otra. Para el promedio de plantas, la distribución total de residuos sólidos sería:

- | | |
|-------------------------------|-----|
| • Lodos de aguas residuales | 45% |
| • Cenizas | 25% |
| • Corteza, residuos de madera | 15% |
| • Papel, basura | 10% |
| • Misceláneos (mezcla) | 5% |

A continuación se describe el tipo de generación de residuos sólidos para cada uno de los procesos llevados a cabo en la fabricación de la pasta y el papel.

5.3.1. Preparación de la materia prima

Como ya se ha comentado en anteriores apartados, cualquiera que sea el procedimiento de fabricación de pasta celulósica a partir de especies forestales, la secuencia de operaciones previas que se realiza en el parque de maderas es la siguiente: recepción de la materia prima, almacenamiento, descortezado y astillado.

Este tipo de operaciones generan residuos de madera y cortezas. Estos residuos pueden incorporarse a la caldera de cortezas, salvo que su contenido en arenas sea un factor limitante. En este caso se puede recurrir al tamizado en un tamiz vibratorio, para separar los fragmentos de corteza y astillas que presenten un tamaño superior al de las arenas. La cantidad de residuos generados es variable y oscila entre 1 y 20 kg/t de pasta fabricada.

5.3.2. Elaboración de pastas

Pastas mecánicas

Los residuos procedentes de la fabricación de pastas mecánicas, además de las cortezas y residuos de madera, consisten en fibras procedentes del proceso, cenizas procedentes de la combustión del fuel oil o residuos sólidos orgánicos, así como lodos orgánicos procedentes de los tratamientos biológicos de la planta de depuración de aguas de la fábrica.

Pastas químicas

Una vez más se describen en este apartado los residuos generados en el proceso kraft, por ser éste el proceso de elaboración de pasta química más utilizado.

Además de las cortezas y rechazos de madera que se generan en las operaciones previas de preparación de la materia prima, la producción de pasta kraft genera varias fracciones de residuos sólidos como lodos inorgánicos procedentes de la recuperación de productos químicos, lodos resultantes del tratamiento de los efluentes líquidos industriales (material inorgánico, fibras y lodos biológicos) y polvo de calderas y hornos. Muchas sustancias orgánicas, consideradas como residuos sólidos, son aprovechados para recuperar energía. Estos normalmente incluyen cortezas y residuos de madera, así como lodos procedentes de la planta de tratamiento de agua.

Los lodos procedentes de la planta de tratamiento de aguas son uno de los grupos principales de residuos potenciales. Se genera una gran cantidad de lodos en el tratamiento primario y tratamiento biológico con el método de lodos activos. Las lagunas de aeración sólo generan pequeñas cantidades de exceso de lodos, y también son moderadas las cantidades de lodos procedentes del tratamiento anaerobio. La floculación química produce una cantidad considerable de lodos.

Los lodos biológicos y químicos presentan propiedades muy pobres para su eliminación de agua; por ello se utilizan compuestos químicos u orgánicos para formar flóculos y mejorar dicha propiedad.

Si el contenido en sólidos de los lodos es menor del 40%, o si presenta una gran cantidad de materia inorgánica, la producción de energía neta es cero o negativa. Para mantener unas buenas condiciones de combustión se debe añadir combustible adicional si no se utiliza corteza u otros residuos de madera. La combustión reduce el volumen de residuos, y el contenido en materia inorgánica permanece como ceniza, la cual normalmente se transporta a vertedero controlado.

Los lodos procedentes de la precipitación química no pueden ser quemados sin el uso de combustible auxiliar debido al alto contenido en materia inorgánica y agua. Por lo que son transportados normalmente a vertederos controlados. Los lodos procedentes de la floculación con tan sólo polielectrolitos se pueden llevar a incineración.

La decantación de las lejías verdes (disolución de materia fundida procedente de la caldera de recuperación) genera unos residuos sólidos como cenizas y otras impurezas, cuya cantidad y composición depende del tipo de gestión que se lleve a cabo y el contenido en compuestos insolubles de sílice y otras sales de las lejías negras.

Los residuos de las lejías verdes suelen unirse a los lodos resultantes en la preparación de la lechada de cal (lodos de cal), en la que el hidróxido cálcico (cal apagada) forma una suspensión y produce un residuo de nódulos de mayor tamaño que las partículas en suspensión que son retenidos por tamizado.

En las siguientes tablas, se ofrece la composición de algunas mezclas de lodos de lixiviación de las lejías verdes con lodos de cal.

Tabla 5.3.1. Composición de los lodos de lixiviación de lejías verdes con lodos de cal

Lodos de cal %	Sólidos %	Cenizas %	Materia orgánica %	N total g/kg materia seca	P total g/kg materia seca	S total g/kg materia seca
< 2	45	62	20	0,4	0,6	23
75	59	62	6,5	< 0,4	2,8	6,3

Fuente: Industrial Environmental Control. Pulp and Paper; A.M. Springer. Ed. Tappi 3ª edición, 2002.

Tabla 5.3.2. Contenido en metales de los lodos de lixiviación de lejías verdes.

Lodos de cal %	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
< 2	430	16	9.2	75	90	0.07	60	18	330	2300
75	310	11	5.3	85	96	< 0.1	29	11	290	1000

Fuente: Industrial Environmental Control. Pulp and Paper; A.M. Springer. Ed. Tappi 3ª edición, 2002.

Pasta de papel recuperado

Por lo que respecta a la fabricación de papel recuperado cabe mencionar que la mayor parte de las impurezas y contaminantes procedentes del procesado del papel recuperado terminan como residuos. Éstos son rechazos, generados en la propia preparación de la pasta, y lodos producidos tanto en la clarificación de aguas blancas como en el tratamiento de excedentes de éstas. Si además se produce in situ la incineración de residuos, se generan cenizas. Los residuos deben ser espesados y deshidratados para conseguir un alto contenido en sólidos secos.

Según los diferentes tipos de papel recuperado empleado y la clase de papel a obtener se generan unas cantidades determinadas de residuos:

Tabla 5.3.3. Cantidades de residuos referentes a la entrada de materias primas (%) dependiendo de las calidades del uso del papel reciclado y calidad del papel producido

Producto	Clase de papel recuperado	% total pérdidas	Rechazos		Lodos	
			Grososeros /pesados	Fino/ ligero	Destintado	Clarificación de agua blanca
Gráficos (I/E + prensa)	Periódicos, revistas, más altas calidades	15-20 10-20	1-2 < 1	3-5 < 3	8-13 7-16	2-5 1-5
Tisú	Oficinas, archivos, media calidad	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25
DIP (comercial)	Fascículos y oficina	32-40	< 1	4-5	12-15	15-25
Embalaje	Cajas c.o., sacos, almacenes, tiendas, domésticos	4-9	1-2	3-6	--	0-1
		3-6	< 1	2-4	--	0-1

Fuente: BREF, , Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

Los rechazos suponen alrededor de un 6,5% del total del papel recuperado incorporado y no presentan potencial de reciclado, por lo que son llevados a vertedero o bien incinerados produciéndose cenizas.

Tabla 5.3.4. Desglose (en porcentaje) de un rechazo tipo de una fábrica de embalaje

Parámetro de Control	%
Contenido agua	45
Plásticos	25,9
Papel	27
Cristales-Piedras	0,1
Metales	0,9
Sustancias orgánicas	1,1

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gobierno Vasco.

Los lodos generados en la recuperación de fibras a partir de las aguas blancas, y en el tratamiento mecánico de los excedentes de ella, están formados por fibras cortas (finos) y cargas, ambas repartidas casi a un 50% dependiendo de la clase de papel recuperado que se utilice. Estos lodos no admiten ser reciclados para utilizarlos en calidades altas de papel y en ese caso son incinerados o llevados al vertedero. La recuperación de fibras contribuye a minimizar la cantidad de residuos.

Los lodos de destintado contienen también finos, cargas, ligantes u otros aditivos y tintas. Estas últimas pueden dar origen a la presencia de pequeñas concentraciones de metales pesados (Cr y Zn principalmente) en los lodos, los cuales podrán ser incinerados, utilizados en la fabricación de materiales de construcción o enviados al vertedero (si bien en algunos países está prohibido).

Los lodos procedentes del tratamiento biológico del agua sobrante en algunos casos son reciclados al producto (es el caso de algunos papeles de embalaje) o espesados, deshidratados y, posteriormente, incinerados o enviados al vertedero.

5.3.3. Fabricación de papel

Las fábricas de papel producen varios tipos de residuos sólidos durante el proceso de fabricación:

Rechazos producidos en la depuración de la pasta

La depuración ciclónica y centrífuga produce unos rechazos cuyo contenido en sólidos puede variar. Este caudal normalmente es llevado al tratamiento de efluentes para unirse con lodos no deshidratados.

Lodos resultantes del tratamiento de aguas de alimentación y aguas blancas del vertido del exceso de aguas blancas

Los sistemas que los originan son:

- El tratamiento del agua de suministro a la industria mediante precipitación / floculación para conseguir agua de proceso.
- La clarificación primaria de los vertidos.
- El tratamiento biológico, estos lodos contienen una alta proporción de materia orgánica.
- El tratamiento químico (floculación) del tratamiento terciario.

Los lodos obtenidos en los tratamientos biológicos y químicos son difíciles de deshidratar y normalmente son mezclados con lodos primarios antes del deshidratado.

Restos de almidón procedentes de las instalaciones de preparación de las dispersiones

En la mayoría de los casos en ellas se aplican suspensiones de almidón con concentraciones en sólidos variables pero que no suelen superar el 10%, y cuyos escapes o pérdidas van directamente al efluente: El almidón es el compuesto más importante en estos vertidos, que originan aumento de la DBO y la DQO.

Efluente de las estaciones de estucado

Aquí las pérdidas se producen durante la preparación de las salsas o como resultado del continuo filtrado al que se las somete. Las descargas de este efluente van directamente a la planta de tratamiento. El agua que procede del lavado de tanques y tuberías a veces causa problemas en el tratamiento biológico, por la elevada concentración puntual de los vertidos, en este caso, se puede aplicar un tratamiento de recuperación de los productos de la salsa mediante membranas de filtración, o se recoge en un depósito para integrarlo paulatinamente en el tratamiento de los vertidos.

Los aditivos químicos

Como media, el 1% de las materias utilizadas para producir papel son productos químicos denominados aditivos. Además de los efectos positivos sobre la eficiencia en la producción y la mejora de la calidad, excepcionalmente algunos de ellos pueden contaminar los vertidos.

5.4. CONSUMO DE AGUA

5.4.1. Introducción

El principal empleo del agua en la fabricación de papel y cartón lo constituye su uso como medio de dispersión y transporte de las materias primas fibrosas y de los aditivos, a través de las etapas del proceso de producción, que van desde el pulpeo hasta la formación. El agua se utiliza también como fluido de intercambio de calor, para el sellado de los sistemas a vacío, para la producción de vapor, como agente lubricante, etc. En la siguiente tabla se resumen los principales usos del agua en esta industria.

Tabla 5.4.1. Usos, funciones y ejemplos de consumo de agua

Usos	Función	Ejemplos
Aguas de proceso	Transporte	Transporte de fibras, aditivos, cargas, etc.
	Dilución	Ajuste de la consistencia, preparación de aditivos
Aguas para rociadores y toberas	Mojado	Mojado de la tela de formación
	Lubricante	Rodillo de cabeza, retorno de la tela, tensor, conductor, etc.
	Corte	Recorte de los laterales de la banda del papel
	Limpieza	Limpieza de la tela de formación, de los rodillos, etc.
	Dilución	Caja de alimentación
	Enfriamiento	Rodillos guía, rodillo superior, partes mecánicas
	Antiespumante	Células de flotación, caja de alimentación, etc.
Agua de refrigeración	Enfriamiento	Sistemas de bombas, sistemas de accionamiento de máquinas, fluidos de lubricación, etc.
Agua de caldera	Producción de vapor	Cilindros secadores
Agua de sellado	Sellado	Cajas de vacío, bombas, etc.
Agua de limpieza	Transporte	Limpieza de máquinas, tuberías, depósitos, etc.

Dado el elevado consumo de agua en la fabricación se admiten aguas dentro de un amplio intervalo de especificaciones, dependiendo de su disponibilidad y coste de tratamiento. En general, las aguas superficiales tienen propiedades más variables y dependen de la localización de la fábrica mientras que las aguas de pozo tienen una composición más estable y fundamentalmente contienen una gran cantidad de sales minerales.

La calidad del agua que entra en el circuito de la máquina de papel es crítica, puesto que puede llegar a definir la mayoría de los procesos químicos que se van a producir durante la fabricación del papel, influyendo sobre la eficacia del sistema químico de retención y drenaje, determinando el grado de recirculación de las aguas blancas y el grado de retención en la tela de las materias primas y aditivos utilizados.

El pH del agua de alimentación tiene más importancia en los procesos de fabricación de los papeles neutros y alcalinos, que en el caso de la fabricación en medio ácido. El pH del medio determina el grado de ionización de los grupos funcionales en disolución y afecta al equilibrio entre los iones disueltos y entre éstos y las cargas de la suspensión.

En los procesos ácidos, la dureza del agua determina la dosis de aluminio y de ácido sulfúrico necesarios para acondicionarla, lo que aumenta la conductividad. En otros procesos, es la conductividad del agua de aportación la que tiene influencia directa en la floculación. La presencia de sales influye en la química de la parte húmeda de la máquina de papel debido a su interacción con los grupos cargados de la superficie de las partículas en suspensión y de los polímeros presentes.

Por último, la presencia de compuestos orgánicos en las aguas de alimentación tiene mucha menor importancia que la presencia de sales inorgánicas. Esto es debido a la baja concentración de materia orgánica presente en las aguas de alimentación con respecto a la materia orgánica presente en las aguas de proceso.

El volumen de agua consumida depende de numerosos factores entre los que cabe destacar tres principales: el tipo de fibra utilizada como materia prima, el producto fabricado y la tecnología del proceso de producción.

5.4.2. Elaboración de pastas

Pastas mecánicas

Se citan a continuación consumos típicos de agua en la fabricación de pastas mecánicas:

Tabla 5.4.2. Consumos típicos de agua en la fabricación de pastas mecánicas

Tipo de pasta	Consumo de agua (m ³ /t AD)
Pasta mecánica tradicional (SGW)	10-15
Pasta Termomecánica (TMP)	4-10

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gobierno Vasco.

Pastas químicas

El consumo de agua en la elaboración de pastas químicas varía mucho de unas fábricas a otras, valores superiores a 50 m³ agua/t de pasta son normales si la fábrica cuenta en sus instalaciones con torres de refrigeración de agua.

Pastas de papel recuperado

Los consumos específicos de agua de diferentes procesos en la fabricación pasta y papel a partir de papel recuperado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5.4.3. Consumos específicos de agua de diferentes procesos en la fabricación de pasta y papel a partir de papel recuperado

Proceso	Consumo m ³ /t	
Fabricación tratamiento de Pasta Recuperada	Sin destintado	1,5-10
	Con destintado	5-20
Fabricación de papel con Pasta Recuperada	Embalaje	1,5-10
	Prensa	10-20
	Tisú	5-100
	Impresión/ Escritura	7-20

Fuente: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry.

5.4.3. Fabricación de papel

Según los productos fabricados, los consumos de agua en las fábricas de tecnologías actuales se encuentran dentro de los siguientes intervalos:

- Cartón y cartoncillo: 1-20 m³/t de producto.
- Papel de periódico: 6-20 m³/t de producto.
- Papel tisú: 10-50 m³/t de producto.
- Papel de impresión y escritura: 5-50 m³/t de producto.
- Papeles especiales: 10-300 m³/t de producto.

Hay fábricas que operan con consumos superiores, debido a factores tales como la utilización de máquinas antiguas, la inexistencia de procesos de clarificación de aguas, el menor cierre del sistema de aguas, etc. Los consumos pueden llegar a alcanzar, en ocasiones, los siguientes valores:

- Cartón: 35 m³/t de producto.
- Papel de periódico: 30 m³/t de producto.
- Papel tisú: 60 m³/t de producto.
- Papel de impresión y escritura: 200 m³/t de producto.

5.4.4. Completa gestión del agua

Si el agua se utilizase en la fabricación de papel en circuitos totalmente abiertos, el consumo de agua sería técnica, económica y ecológicamente inadmisibles en la actualidad. Por tanto, todas las fábricas utilizan, en mayor o en menor medida, algún grado de reciclado del agua en el proceso de fabricación. Las alternativas más frecuentemente adoptadas en la industria papelera para la reducción del consumo de agua son:

- Reutilización de las aguas blancas como aguas de proceso.
- Reutilización del agua clarificada para diferentes aplicaciones.
- Utilización del agua en sistemas en cascada en función de los requisitos calidad-uso.
- Utilización del agua para usos técnicos en sistemas cerrados.
- Reutilización del efluente después de su tratamiento como agua de alimentación.

El objetivo de la completa gestión del agua es el reciclaje máximo en los circuitos de agua (como se observa en la figura). No significa ello el cierre completo, sino el equilibrio entre la calidad del producto, el buen funcionamiento de las máquinas y la calidad del agua de proceso mediante la mejor tecnología disponible. La meta es reciclar todo aquel material útil de nuevo al proceso de fabricación, reutilizar el agua en la circulación de aguas de proceso y minimizar el impacto ambiental.

Paralelamente, aporta diferentes ahorros: la disminución del consumo y del coste de agua bruta, la disminución de los costes de inversión y de mantenimiento operativo de tratamiento de efluentes, el mejor funcionamiento de la máquina de papel/cartón y los menores problemas de calidad en el producto final.

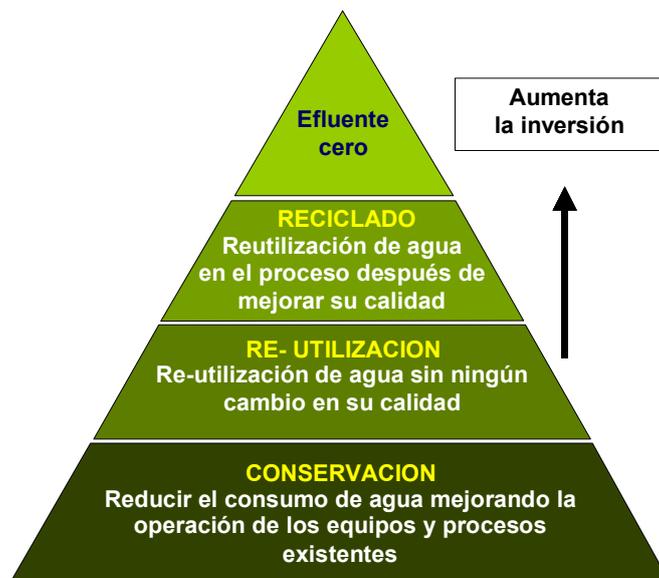


Figura 5.4.1. Completa gestión del agua.

5.5. CONSUMO DE ENERGÍA

5.5.1. Introducción

La industria papelera consume energía según las siguientes vertientes:

- Energía eléctrica:
 - Accionamiento de maquinaria: descortezadoras, astilladoras, refinadoras, transportadoras, etc.
 - Accionamiento de la máquina maquina de papel.
 - Sistemas mecánicos de desintegración, dispersión, agitación y mezcla.
 - Bombeo y transporte de fluidos.
 - Servicios generales y auxiliares.
- Vapor:
 - Calefacción de digestores.
 - Secado de la pasta.
 - Secado del papel.

Estas necesidades energéticas se cubren del modo siguiente: la electricidad se cogenera en la propia planta o se compra a suministradores externos, mientras el vapor se produce siempre en la propia planta a través del proceso de cogeneración o en calderas convencionales. La cogeneración es la producción en un mismo proceso de electricidad y calor. El calor residual que se produce en la generación eléctrica se aprovecha al emplearlo en un proceso industrial que lo consume como energía térmica útil en forma de vapor. Por lo tanto, la instalación de una planta de cogeneración está intrínsecamente asociada a la existencia de una industria que demande calor útil, como es el caso de la industria pastero-papelera.

Las plantas de producción de energía dentro del sector comprenden las siguientes instalaciones:

- Calderas de combustión de cortezas: En el proceso de tratamiento de la madera para la elaboración de la celulosa, las cortezas, astillas y fangos con contenidos fibrosos, que son biomasa renovable, se aprovechan energéticamente en estas calderas.
- Calderas de recuperación de lejía negra: La lejía negra es un biocombustible que se genera en la producción de pasta química y consiste en una mezcla de productos químicos inorgánicos utilizados en la cocción de la madera, con lignina y otros compuestos orgánicos. Estas lejías se concentran y se queman en estas calderas de recuperación para producir vapor de agua, que se cogenera para utilizarlo en el proceso de producción y para generar, además, electricidad. El residuo resultante se utiliza para recuperar reactivos químicos que se reutilizarán nuevamente en el proceso de obtención de pastas.
- Calderas de generación de vapor: En estas calderas, empleando combustibles fósiles, se genera el vapor de agua que se utiliza en los procesos de secado de la pasta y el papel. En las plantas donde se dispone de sistemas de cogeneración estas calderas se utilizan solo como calderas de apoyo.
- Centrales de cogeneración: Debido a la intensa demanda de electricidad y energía térmica en forma de vapor en la industria de la pasta y papel, se ha ido integrando masivamente las tecnologías de cogeneración en sus procesos productivos.

En la figura siguiente se pueden observar los distintos sistemas por los que se cubre la necesidad energética de una planta de producción de pasta y papel.

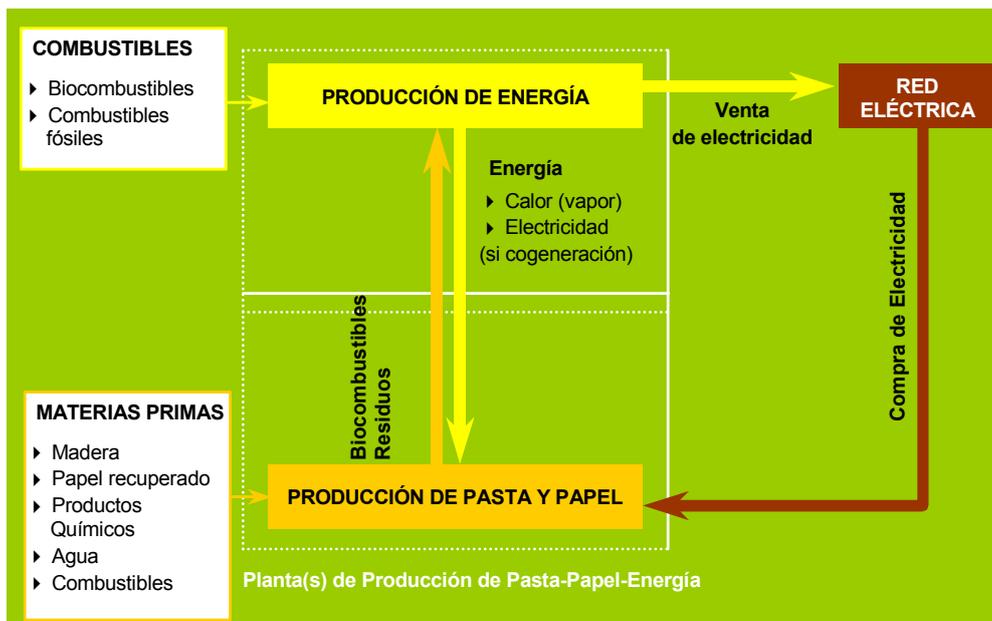


Figura 5.5.1. Sistemas de cubrimiento de necesidad energética de una planta de producción de pasta y papel.

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

Las necesidades energéticas están vinculadas con el tipo de producto, el volumen de producción y el tamaño de los centros productivos.

La mejora en los costes energéticos es una de las claves en la competitividad de la industria de la pasta y el papel. Tres son los factores que adquieren una importancia determinante: eficiencia energética, cogeneración y mezcla de combustibles incluida la valorización energética de los residuos del reciclaje.

Claves para la eficiencia energética

Eficiencia energética

Cogeneración

Mezcla de combustibles y valorización energética de los residuos de proceso

El concepto de eficiencia energética se refiere a aquellos procesos que permiten la misma producción de bienes y servicios con un menor consumo de energía.

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España)

A lo largo de los últimos años, la industria papelera ha identificado y viene aplicando toda una serie de medidas de eficiencia energética tanto en tecnologías horizontales (tecnologías no específicas de un sector) como en tecnologías de proceso (específicas de un proceso), medidas que van desde el alumbrado exterior en fábrica hasta el funcionamiento de los distintos elementos de la maquinaria, y que han hecho posible una ventaja competitiva.

La cogeneración ahorra energía primaria y contribuye a mejorar la eficiencia energética, al ser la forma térmica más eficiente de generar electricidad y calor. Además, al tratarse de una producción de electricidad descentralizada, cercana a los centros de consumo, evita pérdidas e inversiones en las redes de transporte y distribución de electricidad, mejorando la calidad del sistema. Y contribuye a mejorar la eficiencia energética, productividad y calidad del suministro eléctrico de las industrias asociadas, evitando paradas por cortes o microcortes.

A continuación se muestra un diagrama en el que se puede observar el ahorro energético obtenido en una planta de producción de pasta y papel mediante dicha instalación.

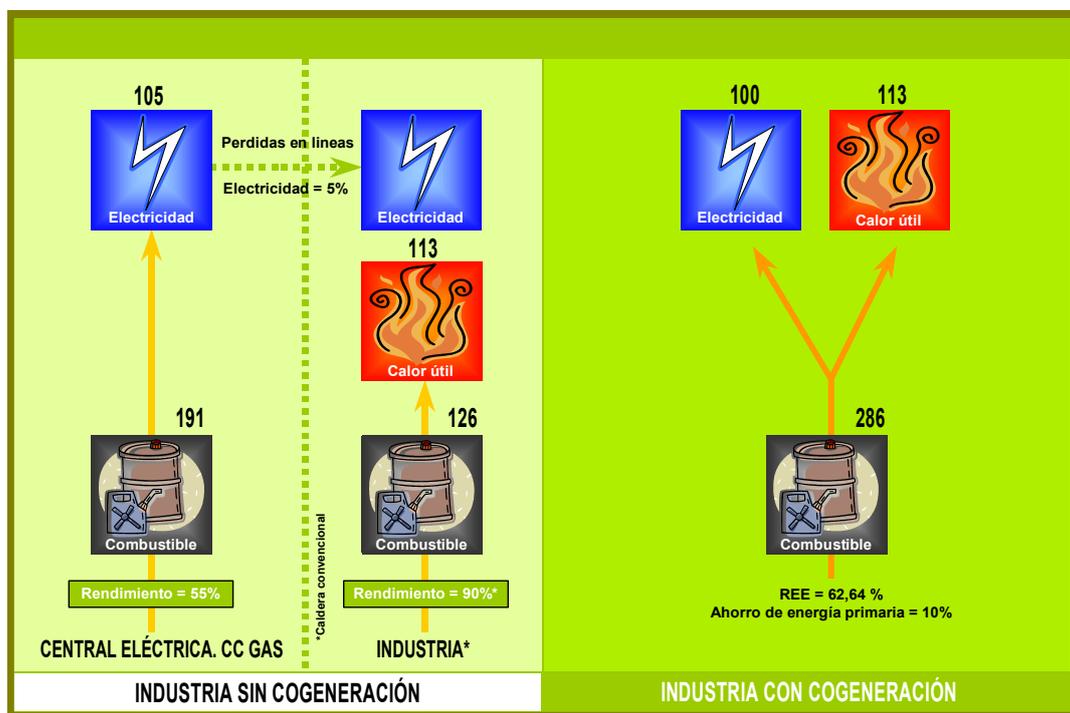


Figura 5.5.2. Ahorro energético obtenido en una planta de producción de pasta y papel mediante la instalación de cogeneración.

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

La tecnología de cogeneración en el sector de producción de pasta, papel y cartón, se encuentra reconocida entre las Mejores Técnicas Disponibles según la definición de la Directiva Europea 96/61/CE del Consejo, relativa a la Prevención y al Control Integrados de la Contaminación (IPPC).

Dicha tecnología es apoyada sin ningún género de dudas por la Comisión en relación con el comercio de derechos de emisión, a través de su Comunicación 2003/830, dado que la cogeneración constituye una tecnología energéticamente eficiente y limpia.

La normativa en materia de medio ambiente viene ratificando definitivamente el importante papel que la cogeneración está llamada a desempeñar en el sector papelero. Así por ejemplo, en el caso de los países de la Unión Europea, recientemente se ha aprobado la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al Fomento de la Cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía, y en países como Egipto la cogeneración se ratifica como una técnica importante en materia de medio ambiente en la "National Strategy for Improving Energy Efficiency", y contaría con aportación económica gubernamental y de agencias internacionales para el desarrollo, dentro del marco "United Nations Development Programme".

Por lo que respecta a los combustibles, la evolución del uso de combustibles en el sector papelero se ha orientado en la última década hacia la sustitución del fuel y el carbón por el gas natural, acompañada simultáneamente de un mayor aprovechamiento extensivo de la biomasa.

Dentro de la estrategia de optimización energética que viene desarrollando la industria papelera española, la valorización energética de los residuos del reciclaje se perfila como una oportunidad clave para avanzar en la mejora de la estructura de combustibles utilizados por el sector.

La gestión de los residuos del proceso consiste en primer lugar en su minimización, a través del control de calidad de la materia prima y de mejoras en el proceso de fabricación, y en segundo lugar en su reciclaje o valorización energética. La adecuada valorización energética de los residuos del reciclaje está expresamente definida como Mejor Técnica Disponible en el sector papelero en el marco de la Directiva 96/61 IPPC .

El papel recuperado, aun después de pasar por un proceso de selección recuperador de papel, llega a las fábricas papeleras mezclado con hasta un 10% de materiales impropios del proceso de recogida: plásticos, bolsas, grapas, arenas, orgánicos, etc. Dichos materiales son rechazados en el proceso de reciclado del papel, generándose unos residuos no peligrosos, cuyo destino tradicionalmente ha sido el vertedero.

No obstante dichos residuos poseen un elevado potencial de valorización y aprovechamiento de su energía en el proceso papelero, evitándose en un 90% la deposición en vertederos.

5.5.2. Elaboración de pastas

Pastas mecánicas

El consumo específico de energía en la fabricación de pasta mecánica varía en función del proceso de fabricación utilizado y el grado de refinado final de la pasta producida.

Tabla 5.5.1. Consumos energéticos específicos en la fabricación de pastas mecánicas

Tipo de pasta	Kwh/t AD	Grado de refinado
Pasta mecánica tradicional (SGW)	1.100-2.000	350-40
Pasta mecánica de refinados (RMP)	1.500-3.000	350-30
Pasta Termomecánica (TMP)	1.800-3.000	400-30

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE, S.A., Gobierno Vasco.

El consumo energético calorífico es mucho menor que el consumo energético eléctrico y depende principalmente del proceso utilizado y del grado de integración de la fábrica.

Pastas químicas

En la fabricación de pastas químicas la mayor parte de la energía consumida se utiliza para calentar diferentes fluidos y evaporar agua. La energía calorífica se emplea también para acelerar o controlar reacciones químicas. La energía eléctrica es consumida principalmente para el transporte de materiales.

La fabricación de pasta blanqueada consume alrededor de 10-14 GJ/t AD de energía calorífica (sin incluir el vapor de producción de energía eléctrica). El consumo de energía eléctrica es de 600-800 Kwh/t, incluyendo el secado de la pasta. El consumo de energía del secado de la pata corresponde a un 25% de la energía calorífica y entre un 15 y un 20% de la energía eléctrica. Aproximadamente un 50% de la energía eléctrica se emplea para bombear.

El consumo de energía depende de la configuración del procesos productivo, equipos instalados y del control del proceso. Así por ejemplo, el consumo eléctrico de una fábrica de pasta kraft cruda integrada es aproximadamente el 50% del de una fábrica de pasta kraft blanqueada no integrada.

La autosuficiencia energética de una fábrica de pasta kraft depende principalmente de un eficiente sistema de recuperación de energía, al quemar en la caldera de leñas negras la materia orgánica de la madera disuelta en las leñas de cocción; la energía secundaria puede ser recuperada también en el quemado de residuos sólidos orgánicos, optimización del sistema de cocción, recuperación de agua caliente de evaporación y enfriado de gases, etc.

Pastas de papel recuperado

En cuanto a la energía térmica, el consumo fundamental corresponde a la operación de dispersión en caliente, que no es siempre parte de las instalaciones.

Por lo que respecta a la energía eléctrica se presenta a modo de ejemplo de consumos eléctricos la siguiente tabla:

Tabla 5.5.2. Consumo de energía eléctrica en varias plantas de fabricación de pasta a partir de papel recuperado

Tipo de planta	Consumo eléctrico
Destintado tisú Producción 40.000 t/año	400 Kw-h/t
Destintado-Prensa Producción 90.000 t/año	250 Kw-h/t

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

5.5.3. Fabricación de papel

La industria del papel puede ser definida como intensiva en energía, ocupando un lugar importante como elemento del costo.

Tabla 5.5.3. Energía consumida en calor y electricidad en una fábrica no integrada de papeles finos

Tipo de planta	Calor (GJ/t)	Electricidad (Kwh/t)
Preparación de pastas	--	202
Máquina de papel	8	350
Tratamiento de efluentes	--	4
TOTAL	8	556

Fuente: ASPAPEL, Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (España).

6. OPORTUNIDADES PARA PREVENIR EN ORIGEN LA CONTAMINACIÓN.

El objetivo del presente capítulo es proporcionar un elemento de reflexión para los técnicos y dirección de las industrias del sector papelerero sobre sus propios procesos y alternativas tecnológicas más respetuosas con el medio ambiente, así como proporcionar una guía a las autoridades competentes para establecer políticas concretas que impulsen mejoras ambientales. Para ello, en este capítulo se describen diferentes alternativas que permiten reducir el impacto medio ambiental de las fábricas de pasta y papel considerando dos objetivos complementarios:

1. Minimizar la generación de contaminantes, corrientes residuales y el consumo de recursos durante el proceso productivo.
2. Reducir el impacto medio ambiental último de las mismas.

Las alternativas tecnológicas propuestas varían desde modificaciones de los sistemas tradicionales de producción proponiendo, en algunos casos, sistemas alternativos a determinados procesos de producción u operaciones unitarias, hasta alternativas para el control de las emisiones finales de dichas instalaciones. Asimismo, las alternativas tecnológicas propuestas se complementan con otras medidas de carácter general basadas en las buenas prácticas y en la motivación del personal que permiten, en su conjunto, la optimización de cada instalación industrial.

El criterio seguido para el desarrollo del presente capítulo ha consistido en presentar una tabla para cada uno de los procesos descritos en el capítulo 4, en la que se muestran determinadas alternativas tecnológicas de prevención de la contaminación.

A continuación se definen todas estas alternativas y se presentan en ficha aquellas alternativas que requieren una descripción más detallada bien por su relevancia tecnológica o bien porque su mayor complejidad requiere de una descripción más específica del proceso; y sin ficha aquellas alternativas que no requieren una descripción tan detallada del proceso, bien por su sencillez tecnológica, por su mayor carácter teórico, por su fácil aplicación o por ser muy específicas.

Las alternativas que se presentan no son excluyentes ni son las únicas posibles sino que, en general, las fábricas adoptan varias medidas de forma simultánea, como se describe en los casos prácticos.

Los datos económicos presentados se han tomado del documento de referencia (BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry). Son sólo indicativos y se presentan a modo de referencia del orden de magnitud de las distintas alternativas, normalmente se expresa en millones de euros (Meuros).

6.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO

Las tablas que se muestran a continuación presentan una visión general de aquellas alternativas tecnológicas preventivas indicadas para la reducción de emisiones, residuos, vertidos, consumo de agua y energía. En este apartado la presentación de las diferentes alternativas se basa en los procesos productivos más significativos del sector de la pasta y el papel, así mismo se han elaborado cinco tablas correspondientes a:

- Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la producción de pasta mecánica y su impacto ambiental (tabla 6.1.1).
- Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la producción de pasta al sulfito y su impacto ambiental (tabla 6.1.2).

- Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la producción de pasta Kraft y su impacto ambiental (tabla 6.1.3).
- Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la producción de pasta de papel recuperado y su impacto ambiental (tabla 6.1.4.).
- Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la producción de papel y su impacto ambiental (tabla 6.1.5).

En las filas se recogen las técnicas disponibles, para las cuales se destacan los efectos que producirían en los niveles de consumos de recursos y emisiones (columnas). Los efectos de cada alternativa se indican cualitativamente usando flechas (↑ ó ↓). Las flechas hacia abajo indican una reducción del consumo de productos químicos, agua o energía, así como una reducción en la carga contaminante de emisiones, residuos y/o vertidos. Por el contrario, las flechas hacia arriba indican un incremento en la generación de contaminantes, en el consumo de recursos o una mejora del proceso de producción.

La información mostrada en las tablas se basa en el documento de referencia (BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry). Los efectos en los consumos y emisiones según la alternativa, no se debe considerar una información imperativa, si no como un punto de partida para conocer una posible fuente de contaminación. Además los efectos dependerán de las condiciones específicas de cada fábrica.

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la fabricación de pasta mecánica

Tabla 6.1.1. APOC's en la producción de pasta mecánica y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
6.3.1. Descortezado en seco	n.e.	↑ E en el descortezado ↓ A	↓ DQO ↓ SST ↓ caudal	n.e.	n.e.	--
6.3.2. Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua	n.e.	n.e.	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	n.e.	--
6.2.2. Recirculación de agua	n.e.	↓ A	↓ Caudal	n.e.	n.e.	--
6.3.5. Lavado eficiente	↓ blanqueo ↓ cocción	↑ E lavado (eléctrica) ↓ A	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX ↓ Caudal	n.e.	n.e.	↓ blanqueo
6.4.1. Nuevos procesos de pasta energéticamente eficientes	n.e.	↓ E	n.e.	n.e.	n.e.	--
6.4.2. Cierre de los circuitos de agua con evaporación e incineración de concentrados	n.e.	↓ A ↑ E	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	↑	↓	MTD para CTMP
6.4.5. Bioreactor de membrana	n.e.	n.e.	↓ Carga contaminante	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
6.3.13. Control de las emisiones del parque de madera	n.e.	n.e.	↓	n.e.	n.e.	Recuperación de fibras
6.2.14. Aplicación de la Cogeneración de vapor y energía	n.e.	↓ E	↓ Sólidos en suspensión	↓	n.e.	--
6.3.17. Minimización pérdidas de rechazos	n.e.	↓ E	↓	n.e.	↓	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones; **CTMP**: Pastas químico-térmico-mecánicas; **MTD**: Mejor Técnica Disponible.

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la fabricación de pasta al sulfito

Tabla 6.1.2. APOC's en la producción de pasta al sulfito y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
6.3.1. Descortezado en seco	n.e.	↑ E en el descortezado ↓ A	↓ DQO ↓ SST ↓ caudal	n.e.	n.e.	↑ producción de energía en la caldera de cortezas
6.3.2. Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua	n.e.	n.e.	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	n.e.	Evita alteraciones en la planta de tratamiento de aguas residuales
6.3.3. Control y recuperación de fugas y escapes	n.e.	↑ E evapor	↓ Caudal ↓ DQO ↓ DBO	n.e.	n.e.	n.e.
6.3.4. Tamizado de la pasta cruda en circuito cerrado de agua	n.e.	↓ A ↑ E evapor.	↓ Caudal ↓ DQO	n.e.	n.e.	Mayor recuperación de materia orgánica. Se debe considerar la capacidad de la planta de recuperación
6.3.5. Lavado eficiente	↓ blanqueo ↓ cocción	↑ E lavado (eléctrica) ↓ A	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX ↓ Caudal	n.e.	n.e.	↑ Calidad
6.3.6. Cocción modificada extendida	↓ blanqueo	(↑/↓)E cocción ↑ E evapor.	↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	n.e.	↑ Mejor blancura (↑/↓) rendimiento final de la pasta. Mayor recuperación de materia orgánica
6.2.3. Deslignificación con oxígeno	↑ oxígeno ↓ blanqueo	↑ E etapa de oxigenación ↑ E oxigenac. de lejías blancas ↑ E horno de recuperación y cal	↓ DQO ↓ AOX	↑ NO _x en la caldera de recuperación	↑ lodos de decantación	↑ producción de energía ↓ coste de blanqueo
6.2.5. Blanqueo TCF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓ ↓ AOX ↑ N (agentes quelantes)	n.e.	n.e.	↑ Coste de blanqueo ↑ Problemas de incrustaciones

Tabla 6.1.2. APOC's en la producción de pasta al sulfito y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
6.4.3. Eliminación de agentes quelantes	↓	n.e.	↓ DBO ↓ DQO ↓ EDTA	n.e.	n.e.	Para la eliminación de quelantes ha de cambiarse el sistema de blanqueo, sin peróxido u ozono o eliminar metales por precipitación
6.2.6. Cierre de circuito en la planta de blanqueo	↑ blanqueo	↑ E evaporación	↓ DBO ↓ DQO ↓ Caudal	n.e.	↓ lodos de decantación	↓ consumo de agua
6.2.8. Clarificación de aguas con sistemas de membranas	↑	↑	↓ Sólidos en suspensión ↓ Materia Coloidal Disuelta ↓ Nutrientes aguas	n.e.	↑ lodos	Rechazos de permeación Tratamiento de lodos
6.4.5. Bioreactor de membrana	n.e.	n.e.	↓ Carga contaminante	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
6.2.10. Depuración por lavado de los gases de la caldera de recuperación	n.e.	↑	n.e.	↓ SO ₂	n.e.	(↑/↓) balance energético
6.2.11. Depuración y reutilización de los condensados de la planta de evaporación	↓ blanqueo ↓ En el tratamiento de aguas residuales	↓ E Aereación ↓ A ↑ vapor	↓ DQO ↓ Caudal ↓ TRS	↓ olor	n.e.	Mejora de la eficacia de la planta de tratamiento de aguas residuales
6.3.14. Incremento de la concentración de leñas negras	n.e.	↑ E evaporación	n.e.	↓ SO ₂ ↑ NO _x ↑ partículas	n.e.	↑ capac de evaporación necesaria ↑ prod. energ. caldera ↑ capacidad productiva Necesidad de precipitadores electrostáticos
6.2.12. Tratamiento de los gases de las calderas y hornos con un precipitador electrostático	n.e.	↑ electricidad	n.e.	↓ SO ₂ partículas	n.e.	--
6.4.4. Reducción selectiva no catalítica	↑ urea/NH ₃	↑ sistema de manipulación	n.e.	↓ NO _x ↑ NH ₃	n.e.	--
6.2.13. Mejora en la preparación de pasta con una disminución del consumo de energía y emisiones	n.e.	↓ E	n.e.	↓	n.e.	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la fabricación de pasta Kraft

Tabla 6.1.3. APOC's en la producción de pasta Kraft y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
6.3.1. Descortezado en seco	n.e.	↑ E en el descortezado ↓ A	↓ DQO ↓ SST ↓ caudal	n.e.	n.e.	↑ producción de energía en la caldera de cortezas
6.3.2. Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua	n.e.	n.e.	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	n.e.	Evita alteraciones en la planta de tratamiento de aguas residuales
6.3.3. Control y recuperación de fugas y escapes	n.e.	↑ evapor	↓ Caudal ↓ DQO ↓ DBO	n.e.	n.e.	--
6.3.4. Tamizado de la pasta cruda en circuito cerrado de agua	n.e.	↓ A ↑ evapor.	↓ Caudal ↓ DQO	n.e.	n.e.	Mayor recuperación de materia orgánica. Se debe considerar la capacidad de la planta de recuperación
6.3.5. Lavado eficiente	↓ blanqueo ↓ cocción	↑ E lavado (eléctrica) ↓ A	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX ↓ Caudal	n.e.	n.e.	↑ Calidad
6.3.6. Cocción modificada extendida	↓ blanqueo	(↑/↓) E cocción ↑ E evapor.	↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	n.e.	↑ mejor blancura (↑/↓) rendimiento final de la pasta. Mayor recuperación de materia orgánica
6.2.3. Deslignificación con oxígeno	↑ oxigenac. ↓ blanqueo	↑ E etapa de oxigenación ↑ E oxigenac. de lejías blancas ↑ E horno de recuperación y cal	↓ DQO ↓ AOX	↑ NO _x en la caldera de recuperación	↑ lodos de decantación	↑ producción de energía ↓ coste de blanqueo
6.3.7. Blanqueo con ozono	↑ oxigenac. ↓ blanqueo	↑ E oxigenac. ↓ E blanqueo	↓ AOX	n.e.	n.e.	↑ Coste
6.2.4. Blanqueo ECF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓ AOX ↓ Dioxinas ↓ ClO ₃ ⁻	n.e.	n.e.	Facilita el cierre de circuitos
6.2.5. Blanqueo TCF	(↑/↓)	(↑/↓)	↓ ↓ AOX ↑ N (agentes quelantes)	n.e.	n.e.	↑ Coste de blanqueo ↑ Problemas de incrustaciones
6.4.3. Eliminación de agentes quelantes	↓	n.e.	↓ DBO ↓ DQO ↓ EDTA	n.e.	n.e.	--
6.2.6. Cierre de circuito en la planta de blanqueo	↑ blanqueo	↑ E evaporación	↓ DBO ↓ DQO ↓ Caudal	n.e.	↓ lodos de decantación	↓ consumo de agua

Tabla 6.1.3. APOC's en la producción de pasta Kraft y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
6.2.8. Clarificación de aguas con sistemas de membranas	n.e.	↑	↓ Sólidos en suspensión ↓ Materia Coloidal Disuelta ↓ Nutrientes aguas	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
6.4.5. Bioreactor de membrana	n.e.	n.e.	↓ Carga contaminante	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
6.3.14. Incremento en la concentración de lejías negras	n.e.	↑ evaporación	n.e.	↓ SO ₂ ↑ NO _x ↑ partículas	n.e.	↑ capac de evaporación necesaria ↑ prod. energ. caldera ↑ capacidad productiva Necesidad de precipitadores electrostáticos
6.2.10. Depuración por lavado de los gases de la caldera de recuperación	n.e.	↑	n.e.	↓ SO ₂	n.e.	(↑/↓) balance energético
6.2.11. Depuración y reutilización de los condensados de la planta de evaporación	↓ blanqueo ↓ En el tratamiento de aguas residuales	↓ E Aereación ↓ A ↑ vapor	↓ DQO ↓ Caudal ↓ TRS	↓ olor	n.e.	Mejora de la eficacia de la planta de tratamiento de aguas residuales
6.4.4. Reducción selectiva no catalítica	↑ urea/NH ₃	↑ sistema de manipulación	n.e.	↓ NO _x ↑ NH ₃	n.e.	--
6.3.15. Mejora del lavado de los residuos de calcinación	n.e.	n.e.	n.e.	↓ TRS	n.e.	--
6.2.12. Tratamiento de los gases de las calderas y hornos con un precipitador electrostático	n.e.	↑ electricidad	n.e.	↓ partículas	n.e.	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la fabricación de pasta de papel recuperado

Tabla 6.1.4. APOC's en la producción de pasta de papel recuperado y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Aplicabilidad
6.2.9. Gestión óptima del agua. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación de circuitos de agua y flujo en contracorriente	↓	↓ E ↓ A	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	n.e.	↓ Consumo de agua fresca
6.3.8. Cierre del circuito de agua con tratamiento biológico de los efluentes integrado en el proceso	n.e.	↓ A	↓ DBO ↓ DQO ↓ Caudal	↓ Olor	↑ lodos	MTD para calidades marrones Cierre total de circuitos
6.2.7. Clarificación de aguas por flotación con aire disuelto en plantas de destintado	↑ floculantes	↑ E ↓ A	↓ MDC ↓ DQO ↓ Caudal	n.e.	↑ lodos	MTD para grados destintados Permite cerrar el circuito
6.2.8. Clarificación de aguas con sistemas de membranas	n.e.	↑	↓ Sólidos en suspensión ↓ Materia Coloidal Disuelta ↓ Nutrientes aguas	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
6.2.13. Mejora en la preparación de pasta para disminuir el consumo de energía y emisiones	n.e.	↓ E	n.e.	↓ emisiones atmosféricas porque ↓ consumo de E	(↑/↓)	MTD para calidades marrones Mejora la calidad
6.2.14. Aplicación de la Cogeneración de vapor y energía	n.e.	↓ E	↓ Sólidos en suspensión	↓	n.e.	--
6.3.17. Recogida separada de los materiales no fibrosos	n.e.	↑/↓	n.e.	n.e.	↓	--
6.3.23. Actualización del diseño de las instalaciones	n.e.	↓ E	n.e.	n.e.	n.e.	Aumenta el rendimiento

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones; **MTD**: Mejor Técnica Disponible.

Alternativas para la prevención en origen de la contaminación (APOC's) en la fabricación de papel

Tabla 6.1.5. APOC's en la producción papel y su impacto ambiental

APOC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (W)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Aplicabilidad
6.2.8. Clarificación de aguas con sistemas de membranas	n.e.	↑ E ↓ A	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	↑	En todos los grados de contaminación
6.2.9. Gestión óptima del agua. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación de circuitos de agua y flujo en contracorriente	n.e.	↓ E ↓ A	↓	n.e.	n.e.	En todos los grados de contaminación
6.3.9. Reducción de las pérdidas de fibra y cargas minerales	↓	↓ A	↓ Sólidos en suspensión	n.e.	n.e.	↓ Coste
6.3.10. Recuperación y reciclaje de los productos de estucado contenidos en los efluentes	↓	↓ A	↓ Caudal ↓ Carga contaminante	n.e.	↓	Mejora el tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en aguas de satinado o estucado
6.3.11. Pretratamiento independiente de las aguas residuales de las operaciones de estucado	↑	n.e.	↓ Caudal ↓ Sólidos Suspensión	n.e.	↑	En aguas de satinado o estucado. ↓ Alteraciones de la planta de tratamiento de aguas residuales
6.3.21. Eliminación de vertidos accidentales u ocasionales	n.e.	n.e.	↓ Descargas puntuales	n.e.	n.e.	En todos los grados de contaminación. ↓ Alteraciones de la planta de tratamiento de aguas residuales
6.3.12. Sustitución de sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos contaminantes	n.e.	n.e.	↓ Toxicidad	n.e.	↓ Toxicidad	En todos los grados de contaminación. Mejora el tratamiento biológico.
6.2.14. Aplicación de Cogeneración de vapor y energía	n.e.	↓ E	↓ Sólidos en suspensión	↓	n.e.	--
6.3.16. Uso de combustibles pobres en azufre o combustibles renovables	↓	↓ E	n.e.	↓ SO ₂ ↓ CO ₂	n.e.	--
6.3.20. Uso de tecnologías energéticamente eficientes	n.e.	↓ E	n.e.	n.e.	n.e.	En todos los grados
6.2.15. Optimización del desgote en la sección de prensado de la máquina de papel	n.e.	↓ E	n.e.	n.e.	n.e.	En todos los grados

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

6.2. FICHAS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA PREVENCIÓN EN ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN (APOC's) SELECCIONADAS

En este apartado se recogen las alternativas tecnológicamente más relevantes para la prevención en origen de la contaminación, se presentan alternativas para los principales procesos productivos del sector y para todas las clases de residuos (aguas residuales, contaminación atmosférica y residuos sólidos).

La ficha teórica (6.2.1.) es una herramienta para la correcta interpretación de las fichas restantes, contiene la descripción y objetivos de cada uno de los apartados que forman las fichas.

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.1. Ficha teórica
Proceso y Actuación	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Proceso</u> productivo en el cual es aplicable la APOC. - <u>Actuación</u> clave en la que se basa la APOC (sustitución de materias primas, reciclaje en origen, cambios tecnológicos o Buenas Prácticas Ambientales).
Etapas / Operación	Etapas o operación que se modifica, se incluye o se elimina para conseguir la implantación de la APOC.
Problemática medioambiental	Afecciones más importantes sobre el medio ambiente que se realizan con el proceso productivo original, éstas se minimizan o disminuyen con la aplicación de la APOC.
Beneficios potenciales de la APOC	Principales ventajas que se obtienen con la aplicación de la APOC.
Descripción	Bases científicas y tecnológicas en las que se basa la APOC, y descripción de su funcionamiento.
Procedimiento	Descripción de la/s alternativa/s más utilizadas para la integración de la APOC en el proceso productivo.
Comentarios	Información adicional complementaria de los apartados anteriores.
Aspectos económicos	Siempre que sea posible, se realizará una orientación económica de los costes de implantación y funcionamiento de las APOC's. Los datos que se presentan se han tomado del documento de referencia: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry (2001).

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.2. Recirculación de agua
Proceso y actuación	Proceso: Producción de pasta y papel (Ejemplo de una fábrica de producción de pasta mecánica). Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.
Etapas / Operación	Minimización y reutilización de las aguas de proceso.
Problemática medioambiental	Elevado consumo de agua, costes de tratamiento de aguas residuales elevados. Mala gestión del agua en la industria.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<p>Los principales beneficios de la aplicación de esta alternativa son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del coste de agua fresca. • Reducción del coste de tratamiento del agua fresca. • Menor caudal de aguas residuales a tratar. • Reducción de las pérdidas de materias primas. • Menor consumo energético. • Mayor velocidad de drenaje en la máquina de papel.
Descripción	<p>Una vez conocidos los consumos de agua necesarios en cada etapa del proceso y las calidades de agua de los efluentes de los distintos procesos se puede optimizar el uso del agua mediante la reutilización de aquellas corrientes cuya calidad permita su reutilización en otro proceso.</p> <p>En la actualidad todas las fábricas trabajan, en mayor o menor medida, con recirculación de aguas. El grado de recirculación depende del nivel de contaminantes que se puede acumular en el circuito sin afectar a la calidad del producto ni al proceso de fabricación. En todos los casos es necesario un aporte de agua fresca, incluso en sistemas totalmente cerrados, debido fundamentalmente a las pérdidas por</p>

evaporación. En fábricas no integradas, donde el producto final acostumbra a ser pasta de papel, el agua de aporte es agua fresca mientras que en fábricas integradas, el producto final es papel, se puede utilizar agua fresca en la máquina de papel y aguas blancas en la planta de pasta.

En cada caso es necesario establecer los contaminantes críticos para cada proceso. Por ejemplo, en las plantas de pasta el nivel de extractivos y de elementos ajenos al proceso, como cloruros, metales, Ca, etc, son críticos, mientras que en las plantas de papel reciclado el nivel de sales, basura aniónica, entendiéndose por ésta la materia disuelta y coloidal de carácter aniónico, o de stickies, depósitos adherentes, son mas críticos y en plantas que producen papeles de colores el color del agua puede marcar el grado de cierre del sistema.

Los efectos más inmediatos del cierre de circuitos sobre la calidad de las aguas son: el aumento de los sólidos en suspensión, de la materia disuelta y coloidal y de la temperatura. Estas alteraciones pueden producir numerosos problemas tanto en el proceso de fabricación como en la calidad de los productos finales que afectan a la productividad de la planta. A modo de ejemplo cabe destacar la disminución de la eficacia de los productos químicos, problemas de corrosión y abrasión, formación de depósitos e incrustaciones, taponamiento de duchas, telas y fieltros, etc.

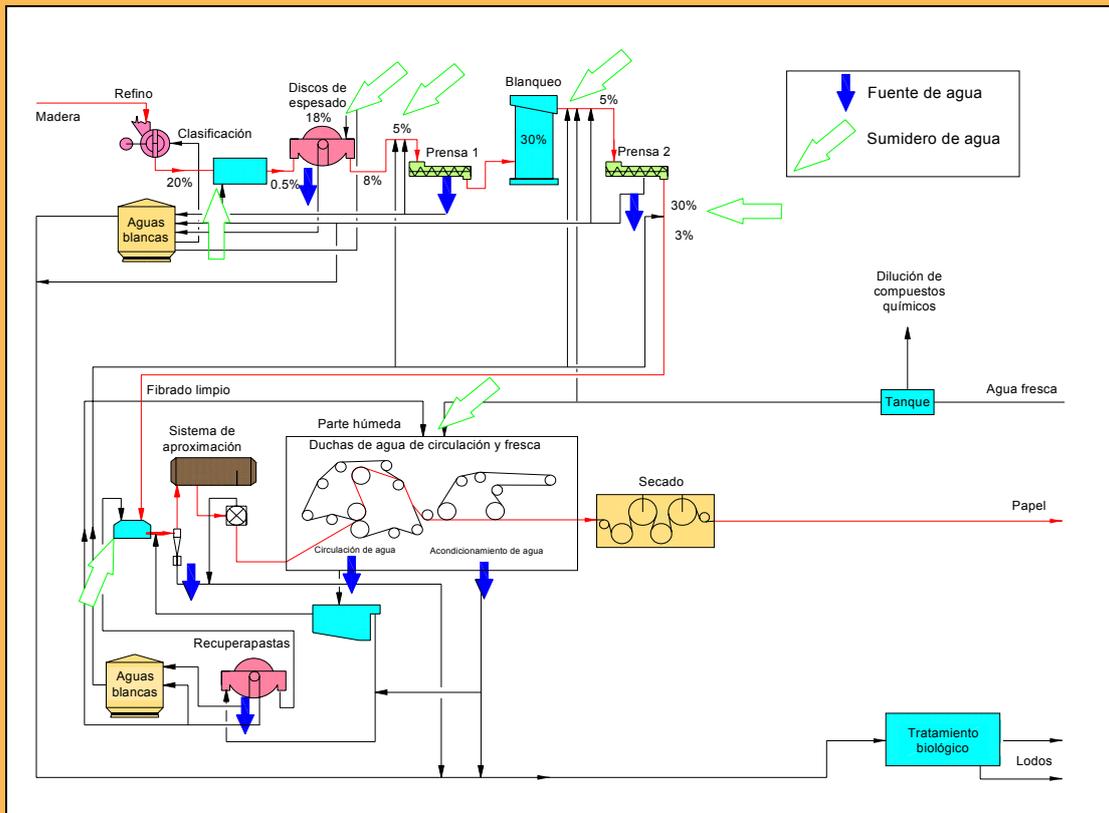


Figura 6.2.1. Principales fuentes y sumideros de agua de una fábrica integrada de pasta mecánica y papel.

Procedimiento

Existen distintas alternativas para el cierre de circuitos. Entre las más utilizadas destacan:

- Separación de circuitos de aguas en función de su carga contaminante.
- Utilización del agua en sistemas en cascada y en contracorriente en función de los requerimientos calidad-uso. Un ejemplo, de la utilización del sistema en cascada, es el proceso de lavado de pasta.
- Utilización del agua para usos técnicos en sistemas cerrados: aguas de sellado, aguas de refrigeración, aguas de sistemas de vacío, etc.
- Capacidad suficiente de almacenamiento de aguas para hacer frente a las fluctuaciones del proceso.
- Espesamiento de la pasta antes de ser enviada a la planta de papel.
- Reducción del consumo de agua fresca reciclando las aguas blancas, dependiendo de la calidad del agua requerida para los distintos procesos.
- Reutilización de aguas blancas en rociadores cuando sea posible.
- Generación de agua clarificada procedente de las aguas blancas y reutilización de las mismas.
- Reutilización del efluente final de la planta tras una filtración como agua de alimentación.
- Medidas para mitigar los efectos negativos de la recirculación de las aguas de proceso.

	El cierre de circuitos de aguas de uso técnico permite alcanzar una reducción del agua de refrigeración de 10-15 m ³ /t de producto y el consumo de agua de sellado se puede reducir a menos de 1 m ³ /t. Al mismo tiempo es posible recuperar parte de la energía si se usan intercambiadores de calor. En general, una buena gestión del agua, sin aplicar ningún tratamiento específico, permite reducir un 20% el consumo de agua fresca (5-8 m ³ /t) (estos datos dependen de la situación inicial).
Comentarios	Esta medida puede ser aplicada tanto en fábricas nuevas como en existentes. El balance de aguas se tiene que realizar junto con el balance de energía.
Aspectos económicos	Los costes de inversión para una fábrica integrada con una producción de 700 t/a y una reducción del consumo de agua de 20 m ³ /t a 10 m ³ /t, se estima en 10-12 MEuros. Este dato puede variar mucho en función de la calidad del producto final. La recirculación del agua de refrigeración y sellado requiere inversiones adicionales para las tuberías, bombeo y filtración del agua. El incremento de la capacidad de almacenamiento de agua implica la instalación de tanques adicionales. No hay datos disponibles acerca de los costes específicos. Esta técnica permite la reducción de los costes de materias primas y el consumo de energía.

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.3. Deslignificación con oxígeno																											
Proceso y Actuación	Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.																											
Etapa / Operación	Deslignificación como etapa previa al blanqueo.																											
Problemática medioambiental	Vertido de aguas con elevado contenido en materia orgánica.																											
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la carga contaminante de los efluentes de blanqueo: DQO y AOX (en el caso de utilizar agentes con cloro). Menor consumo de agentes de blanqueo. Menor coste de blanqueo. <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <caption>Tabla 6.2.1. Características de las tecnologías de deslignificación</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tecnologías de deslignificación</th> <th rowspan="2">Kappa para madera de frondosas</th> <th rowspan="2">Kappa para madera de coníferas</th> <th colspan="2">Carga DQO del efluente de blanqueo (kg/t)</th> </tr> <tr> <th>Madera de frondosas</th> <th>Madera de coníferas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cocción convencional</td> <td>14 – 22</td> <td>30 – 35</td> <td>28 – 44</td> <td>60 – 70</td> </tr> <tr> <td>Cocción convencional + deslignificación con oxígeno</td> <td>13 – 15</td> <td>18 – 20</td> <td>26 – 30</td> <td>36 – 40</td> </tr> <tr> <td>Cocción modificada /extendida</td> <td>14 – 16</td> <td>18 – 22</td> <td>28 – 32</td> <td>36 – 44</td> </tr> <tr> <td>Cocción extendida + deslignificación con oxígeno</td> <td>8 – 10</td> <td>8 – 12</td> <td>16 – 20</td> <td>16 – 24</td> </tr> </tbody> </table>	Tecnologías de deslignificación	Kappa para madera de frondosas	Kappa para madera de coníferas	Carga DQO del efluente de blanqueo (kg/t)		Madera de frondosas	Madera de coníferas	Cocción convencional	14 – 22	30 – 35	28 – 44	60 – 70	Cocción convencional + deslignificación con oxígeno	13 – 15	18 – 20	26 – 30	36 – 40	Cocción modificada /extendida	14 – 16	18 – 22	28 – 32	36 – 44	Cocción extendida + deslignificación con oxígeno	8 – 10	8 – 12	16 – 20	16 – 24
Tecnologías de deslignificación	Kappa para madera de frondosas				Kappa para madera de coníferas	Carga DQO del efluente de blanqueo (kg/t)																						
		Madera de frondosas	Madera de coníferas																									
Cocción convencional	14 – 22	30 – 35	28 – 44	60 – 70																								
Cocción convencional + deslignificación con oxígeno	13 – 15	18 – 20	26 – 30	36 – 40																								
Cocción modificada /extendida	14 – 16	18 – 22	28 – 32	36 – 44																								
Cocción extendida + deslignificación con oxígeno	8 – 10	8 – 12	16 – 20	16 – 24																								
Descripción	<p>Tratamiento con oxígeno de la pasta en medio alcalino, a 4-5 atm de presión y una temperatura de 100 °C para eliminar entre un 40 y un 60% de la lignina residual presente en la pasta cruda, dependiendo si el proceso se lleva a cabo en una o dos etapas.</p> <p>La deslignificación con oxígeno se puede efectuar a media consistencia (10-15%) o a alta consistencia (25-30%).</p> <p>Las lejías residuales se utilizan en contracorriente como aguas de lavado de la pasta cruda y, finalmente, se envían a la caldera de recuperación.</p>																											

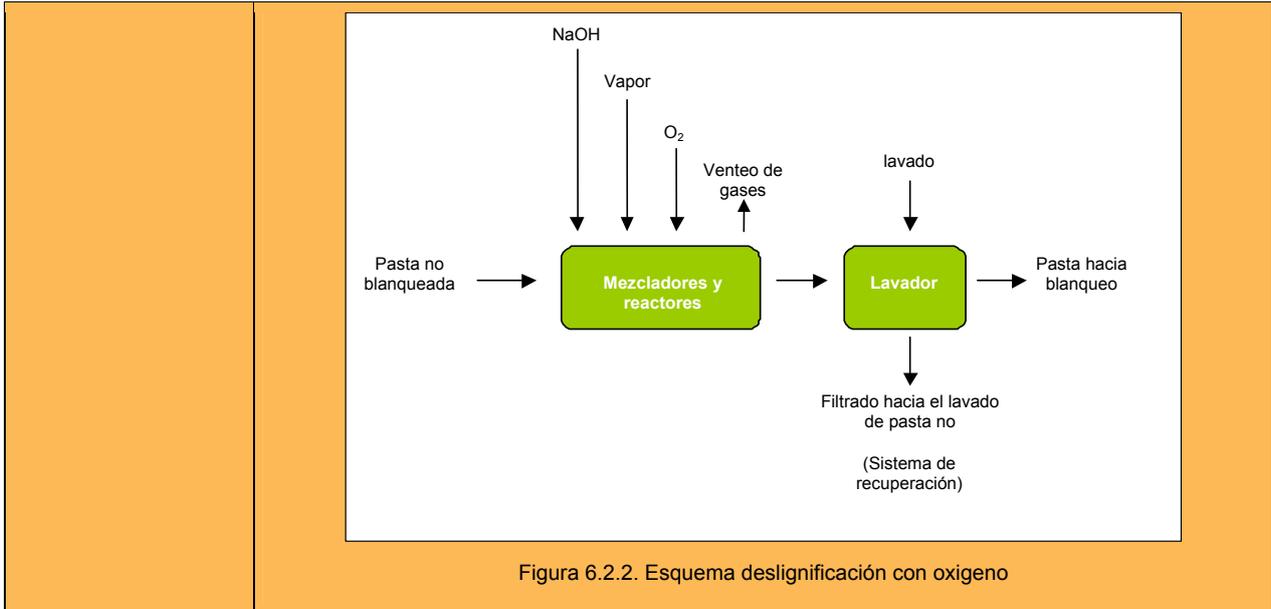


Figura 6.2.2. Esquema deslignificación con oxígeno

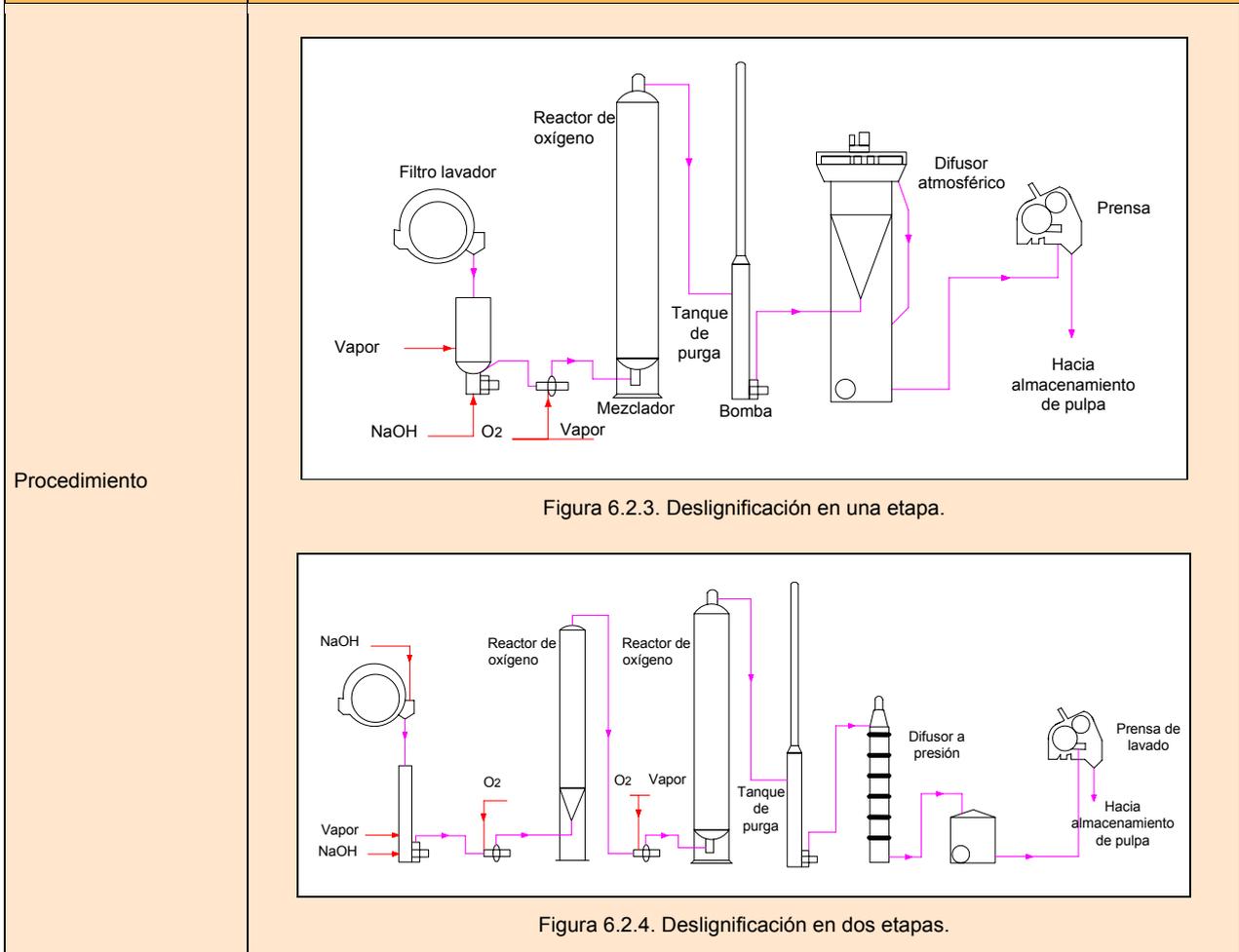


Figura 6.2.3. Deslignificación en una etapa.

Figura 6.2.4. Deslignificación en dos etapas.

Las fábricas más modernas combinan una cocción modificada y una deslignificación con oxígeno. Las ventajas mencionadas sólo se alcanzan con un sistema eficaz de lavado de la pasta.

La integración de una etapa de deslignificación en plantas existentes supone un riesgo de pérdida de producción si el sistema de recuperación no tiene capacidad suficiente para tratar la carga adicional de materia orgánica que se genera (70 kg/t para maderas de coníferas y 45 kg/t para maderas de frondosas, lo que supone un 4-6%). Asimismo, se requiere una capacidad adicional de la etapa de evaporación del 0-4% para sistemas de alta consistencia y del 4-10% para sistemas de media consistencia.

Comentarios / Ejemplos de aplicación

	<p>Esta medida genera un incremento de recuperación de energía a partir de las materias orgánicas disueltas, pero también una disminución del poder calorífico de las lejías negras debido al alto contenido en compuestos inorgánicos.</p> <p>La viscosidad de una pasta deslignificada con oxígeno es menor que la de una pasta obtenida con un tratamiento convencional de blanqueo. Sin embargo no se observan diferencias apreciables en las propiedades finales de resistencia de la pasta.</p>
Aspectos económicos	<p>Esta técnica está muy extendida y puede ser adoptada tanto por fábricas nuevas como existentes, pero no de la misma manera ni con el mismo coste.</p> <p>El coste de inversión de una planta de deslignificación con oxígeno es de 35-40 Meuros para una producción de pasta blanqueada de 1.500 t/d. El coste de operación supone 2,5-3,0 Meuros/a pero la disminución del coste de consumo de productos químicos en el blanqueo compensa dichos costes.</p>

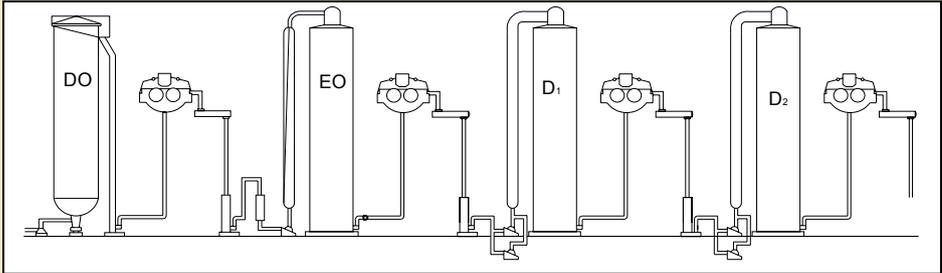
Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.4. Blanqueo ECF																						
Proceso y Actuación	Proceso: Producción de pasta Kraft. Actuación: Sustitución de materias primas, cambios tecnológicos.																						
Etapa / Operación	Blanqueo.																						
Problemática medioambiental	Vertido de aguas con elevado contenido en compuestos organoclorados.																						
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la carga contaminante de AOX en los efluentes de blanqueo (< 0,3 kg AOX/t de pasta). - Reducción de la formación de compuestos orgánicos clorados y de dioxinas (2,3,7,8-TCDD y 2,3,7,8-TCDF). - La disminución de dioxinas depende del índice kappa de la pasta y de las impurezas del ClO₂. 																						
Descripción	En el blanqueo ECF el cloro gas se sustituye por dióxido de cloro como principal agente de blanqueo, con lo que se disminuye la formación de compuestos orgánicos clorados y dioxinas. El blanqueo ECF se realiza en varias etapas, que son diferentes en función del número kappa de la pasta a la entrada de la planta de blanqueo, del grado de blancura final deseado, así como de la especie de madera de que se trate. Generalmente las maderas duras requieren menos etapas de blanqueo. La sustitución del Cl ₂ aumenta el consumo de ClO ₂ , de O ₂ y de H ₂ O ₂ .																						
Procedimiento	<p>Posibles secuencias para el blanqueo son:</p> <table border="0"> <tr> <td>Maderas blandas:</td> <td>Maderas duras:</td> </tr> <tr> <td>D(EP)D</td> <td>D(EOP)D(EP)D</td> </tr> <tr> <td>DPDP</td> <td>D(EO)D(EP)D</td> </tr> <tr> <td>D(EOP)DD</td> <td>D(EOP)DD</td> </tr> <tr> <td>D(EO)DD</td> <td>D(EO)DD</td> </tr> <tr> <td>D(EO)D(EP)D</td> <td>QDPZP</td> </tr> <tr> <td>DQ(PO)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EOP)DED</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EO)D(OP)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D(EOP)D(OP)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(OP)DQ(PO)</td> <td></td> </tr> </table> <p>El consumo aproximado de reactivos necesarios para blanquear con un proceso D(EO)DD un kilogramo de pasta kraft de pino previamente deslignificada con oxígeno es de: 44 kg de ClO₂, 15 kg de NaOH, 4 kg de O₂ y 1,5 kg de SO₂. Para el blanqueo de pastas duras en ocasiones se puede eliminar la segunda etapa de dióxido de cloro.</p> 	Maderas blandas:	Maderas duras:	D(EP)D	D(EOP)D(EP)D	DPDP	D(EO)D(EP)D	D(EOP)DD	D(EOP)DD	D(EO)DD	D(EO)DD	D(EO)D(EP)D	QDPZP	DQ(PO)		D(EOP)DED		D(EO)D(OP)		D(EOP)D(OP)		(OP)DQ(PO)	
Maderas blandas:	Maderas duras:																						
D(EP)D	D(EOP)D(EP)D																						
DPDP	D(EO)D(EP)D																						
D(EOP)DD	D(EOP)DD																						
D(EO)DD	D(EO)DD																						
D(EO)D(EP)D	QDPZP																						
DQ(PO)																							
D(EOP)DED																							
D(EO)D(OP)																							
D(EOP)D(OP)																							
(OP)DQ(PO)																							

Figura 6.2.5. Ejemplo secuencia de blanqueo.

	<p>Las etapas D se suelen realizar a una consistencia del 10% durante 30 minutos, a una temperatura de 60°C y un pH final de 3.5.</p> <p>Las etapas de extracción alcalina se realizan a una consistencia del 10-12%, durante 60 minutos, a una temperatura de 60-70 °C y con una carga de álcali de 10-20 kg/t de pasta. Generalmente se realiza una etapa EOP, en presencia de oxígeno (3-6 kg/tAD) y de peróxido de oxígeno (2-4 kg/t).</p>
<p>Comentarios / Ejemplos de aplicación</p>	<p>El tratamiento con peróxido favorece el tratamiento inicial suave con oxígeno y las extracciones alcalinas. Asimismo permite ajustar la blancura final de las torres de almacenamiento de alta consistencia. Una etapa con peróxido permite separar las etapas de deslignificación y la de blanqueo. Finalmente una etapa PO al final de la línea de blanqueo permite producir pastas ECF sin tener que aumentar la capacidad de la planta de ClO₂. En la figura 6.2.6. se muestra una planta ECF sin y con la modificación con una etapa Z y PO.</p> <div data-bbox="467 566 1414 1149" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;">Planta existente de blanqueo</p> <p style="text-align: center;">Planta de blanqueo reconstruida</p> </div> <p style="text-align: center;">Figura 6.2.6. Comparación entre una planta ECF sin la modificación con una etapa Z y PO y con la modificación.</p> <p>A las concentraciones de AOX alcanzadas en las aguas de proceso de una planta ECF los compuestos organoclorados son relativamente biodegradables y puede ser eliminado en el tratamiento biológico de las aguas residuales.</p> <p>Esta medida se ha adoptado en la mayoría de fábricas en Europa. La conversión de fábricas existentes a plantas ECF requiere considerables modificaciones en la línea de producción de pasta y de dióxido de cloro y supone un aumento del coste de blanqueo (2-3%).</p>
<p>Aspectos económicos</p>	<p>Los costes de inversión para una producción de 1.500 t/d de pasta blanqueada son de 8-10 Meuros en fábricas nuevas y 3-5 Meuros en fábricas existentes. Los costes de operación son de 10-12 Meuros/a. Estos costes incluyen la necesidad de aumentar la producción de dióxido de cloro.</p>

<p>Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)</p>	<p>6.2.5. Blanqueo TCF</p>
<p>Proceso</p>	<p>Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Sustitución de materias primas, cambios tecnológicos.</p>
<p>Etapas / Operación</p>	<p>Blanqueo.</p>
<p>Problemática medioambiental</p>	<p>Vertido de aguas con elevado contenido en compuestos organoclorados.</p>
<p>Beneficios potenciales de la alternativa de PL</p>	<p>Eliminación de la carga contaminante de AOX en los efluentes de blanqueo.</p>
<p>Descripción</p>	<p>El blanqueo TCF se realiza con agentes totalmente exentos de cloro. Para alcanzar una blancura estándar de 88/90° ISO es necesario que el número kappa de la pasta a la entrada del blanqueo sea inferior a 9 unidades, dependiendo este último valor de la materia prima utilizada y de la secuencia de blanqueo seleccionada.</p>

El blanqueo TCF se realiza en varias etapas, que son diferentes en función del número kappa de la pasta a la entrada de la planta de blanqueo, del grado de blancura final deseado, así como de la especie de madera de que se trate. Los agentes de blanqueo comúnmente utilizados son: peróxido de hidrógeno y ozono y, en ocasiones, el ácido peracético.

El peróxido de hidrógeno es el agente de blanqueo más utilizado en secuencias TCF, sobre todo cuando se trata de pastas de madera de frondosas, especialmente eucalipto. Para blanquear pastas procedentes de coníferas se hace necesario recurrir al blanqueo con ozono (ver alternativa 6.3.7). El ácido peracético no es de uso frecuente. Debido al mayor coste del peróxido de hidrógeno y a su menor poder blanqueante, en los procesos TCF el número kappa de la pasta a la entrada de la planta de blanqueo es sensiblemente inferior al utilizado en los blanqueos ECF. Por tanto en este caso la pasta se somete a una cocción modificada extendida (ver alternativa 6.3.6) y a una o dos fases de deslignificación con oxígeno (ver Ficha 6.2.2), sobre todo cuando se trata de madera de coníferas.

Antes de llevar a cabo el blanqueo es necesario eliminar los metales pesados y de transición (Mn^{2+}, Fe^{2+}, \dots) mediante agentes quelantes en una etapa ácida para evitar que promuevan la rápida descomposición del ion perhidroxilo.

Posibles etapas para el blanqueo son:

- Q(EP)(EP)(EP) para madera de coníferas
- QPZP para maderas de frondosas
- Q(OP)(ZQ)(PO)
- Q(EOP)Q(PO)
- Q(OP)ZQ(PO)

Las condiciones de tratamiento mas habituales por t de pasta son:

- ETAPA Q: 1-2 kg EDTA; pH 5,7 a 6,2; consistencia del 10%, tiempo de reacción 1h; temperatura 90 °C.
- ETAPA EOP: 10-30 kg NaOH; 3-6 kg O_2 ; 2-4 kg H_2O_2 ; pH 11; 1 h; temperatura 60-70 °C.
- ETAPA P: 20-40 kg H_2O_2 ; pH 11-11,5, tiempo de retención de 4h; temperatura 90 °C.
- ETAPA Z: 5kg O_3 ; pH 2-3; consistencias medias o altas; temperaturas inferiores a 70 °C; baja presión.

Procedimiento

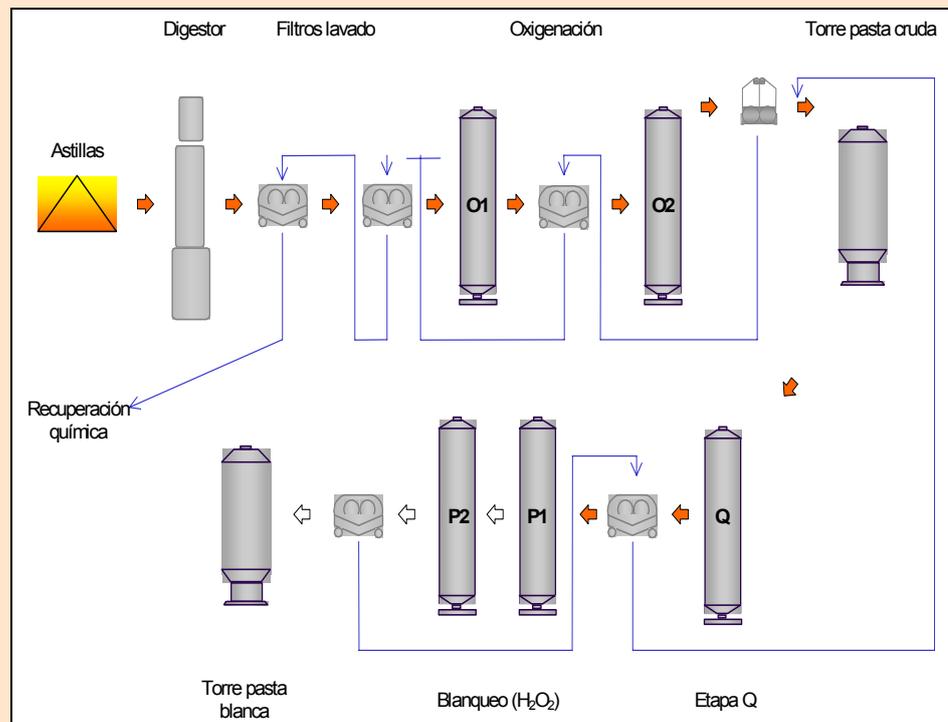


Figura 6.2.7. Ejemplo de un proceso TCF para pasta de eucalipto.

	<p>Figura 6.2.8. Ejemplo de un proceso TCF para pastas de madera de resinosas.</p>
<p>Comentarios / Ejemplos de aplicación</p>	<p>Las pastas ECF y TCF pueden tener la misma calidad final. Los costes de producción de las pastas TCF son mayores. En la actualidad se utilizan más las secuencias ECF. Hay empresas que producen pastas ECF o TCF en diferentes campañas, en función de la demanda.</p> <p>Como en el caso ECF, el tratamiento con peróxido favorece el tratamiento inicial suave con oxígeno y las extracciones alcalinas. Asimismo permite ajustar la blancura final de las torres de almacenamiento de alta consistencia. Una etapa con peróxido permite separar la etapas de deslignificación y la de blanqueo.</p> <p>Utilizando sólo H₂O₂ se pueden alcanzar las blancuras deseadas sin embargo este proceso es difícil de controlar a escala industrial y requiere de grandes consumos de peróxido, por eso se introduce el tratamiento con ozono, que además "activa las fibras" favoreciendo la actuación del peróxido. El tratamiento con ozono no debe ser muy fuerte, puesto que no es un agente muy selectivo y puede atacar a las fibras de celulosa.</p> <p>El ozono se debe generar en la fábrica debido a su rápida descomposición que impide su almacenamiento y transporte.</p> <p>Esta técnica puede utilizarse tanto en fábricas existentes como en nuevas. En las fábricas existentes se requiere una nueva etapa de oxígeno y de lavado para convertir el blanqueo ECF en TCF. Si se usa peróxido de hidrógeno u ozono, serán necesarias dos nuevas torres de blanqueo, así como la reconstrucción de los filtros de blanqueo. El blanqueo con ozono requiere de generadores de ozono y de un reactor. En el caso del ácido peracético se requiere una torre de blanqueo.</p>
<p>Aspectos económicos</p>	<p>Los costes de inversión para el blanqueo con peróxido en fábricas nuevas con una producción de 1.500 t/d de pasta, es de 7-8 Meuros; en las fábricas existentes el coste es de 2-5 Meuros, dependiendo del material del equipo de blanqueo. Si los materiales toleran el peróxido de hidrógeno el coste es de 2-3 Meuros. Los costes operacionales del blanqueo TCF son considerablemente mayores, 18-21 Meuros/a, debido al alto coste de los productos químicos.</p>

<p>Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)</p>	<p>6.2.6. Cierre de circuitos en la planta de blanqueo</p>
<p>Proceso y Actuación</p>	<p>Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.</p>
<p>Etapa / Operación</p>	<p>Blanqueo</p>
<p>Problemática medioambiental</p>	<p>Aguas residuales con un elevado contenido en compuestos orgánicos disueltos. Toxicidad de las aguas residuales.</p>
<p>Beneficios potenciales de la alternativa de PL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menor consumo de agua y energía. • Reducción de aguas residuales en la etapa de blanqueo. • Reducción de la carga contaminante de las aguas. • Reducción de su toxicidad.

<p>Descripción</p>	<div style="text-align: center;"> <pre> graph TD subgraph "AGUAS DE PROCESO" A1[• Agua en la pasta] A2[• Torres de lavado de pasta] A3[• Torres de wire-cleaning] A4[• Agua con compuestos químicos] A5[• Dilución para bombas] A6[• Condensado procedente de la inyección directa de vapor] A7[• Fugas de válvulas] A8[• Rasquetas hidráulicas y de vapor en los lavadores] A9[• Agua de manguera] A10[• Agua para limpieza y arranque de rodillos] A11[• Agua de dilución para facilitar las operaciones de los equipos] A12[• Exceso de agua de aporte para el sellado de los tanques] end subgraph "AGUAS NO DE PROCESO" B1[• Agua de manguera de limpieza] B2[• Agua de refrigeración para dispositivos hidráulicos] B3[• Agua de refrigeración para camisas de cojinetes] B4[• Sellado de algunos tipos de lavadores] B5[• Agua de sellado en ejes de bombas y agitadores] B6[• Agua de refrigeración para las unidades de lavado] B7[• Agua de manguera para refrigeraciones temporales en cojinetes averiados] end subgraph "Retorno" C1[• Agua con lapulpa blanqueada] C2[• Agua para reutilización] C3[• Rebose del sellado del tanque de ácido] C4[• Rebose del sellado del tanque de base] C5[• Reboses de aguas de lavado, fugas, y aguas de sellado] end P[PLANTA DE BLANQUEO] A1 --> P A2 --> P A3 --> P A4 --> P A5 --> P A6 --> P A7 --> P A8 --> P A9 --> P A10 --> P A11 --> P A12 --> P B1 --> P B2 --> P B3 --> P B4 --> P B5 --> P B6 --> P B7 --> P P --> C1 P --> C2 P --> C3 P --> C4 P --> C5 </pre> </div> <p>Figura 6.2.9. Ejemplo de balance de aguas de la planta de blanqueo.</p> <p>El consumo de agua puede reducirse con la mejora de las distintas operaciones unitarias e incrementando la reutilización de las aguas entre las distintas partes del proceso.</p> <p>La primera etapa para cerrar el circuito de aguas es realizar un balance de aguas detallado en la planta de blanqueo.</p> <p>Las aguas de circuitos auxiliares que no se consideran de proceso también tienen que considerarse en el balance. Estas aguas no deben de ser mezcladas con las aguas de proceso y, si es posible, deben trabajar en circuito cerrado, como por ejemplo las aguas de sellado y las aguas de refrigeración.</p>
<p>Procedimiento</p>	<p>Existen distintas alternativas para cerrar los circuitos, basadas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recuperación separada de los efluentes de blanqueo respecto a las lejías de cocción. Se produce la evaporación de las aguas, que se reutilizan, y los sólidos generados se queman en la caldera de recuperación. Debido al carácter corrosivo de las lejías, se requieren materiales especiales para los evaporadores. Requiere un gran consumo energético. • Recirculación únicamente del efluente alcalino al ciclo de recuperación de lejías de cocción. Se minimizan los problemas de corrosión y el efluente ácido puede ser tratado en el tratamiento biológico de la estación depuradora. Este efluente se puede recircular tanto a la etapa de lavado de la pasta cruda como al ciclo de caustificación, siendo esta última alternativa la más utilizada, para evitar un mayor consumo de agentes de blanqueo. La recirculación está limitada por la capacidad disponible en los evaporadores. Como etapa previa se puede realizar una filtración con membranas para concentrar los sólidos, aunque esta técnica todavía presenta numerosos problemas de operación.

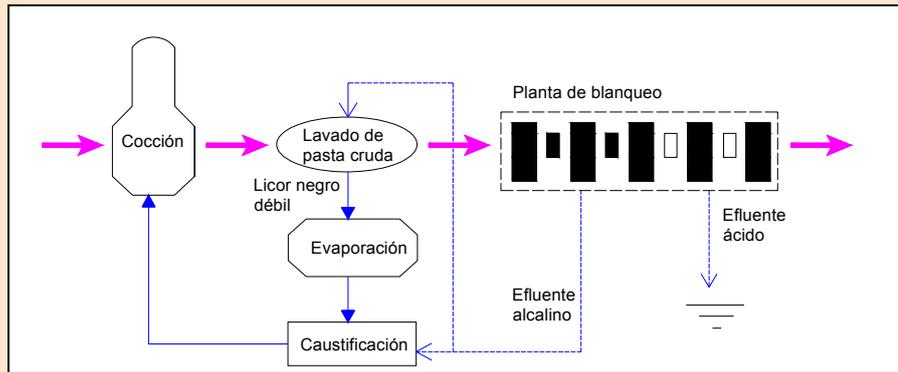


Figura 6.2.10. Esquema de recirculación del efluente alcalino a la recuperación de lejías de cocción.

- Recirculación de ambos efluentes de blanqueo al ciclo de recuperación de lejías. Presenta problemas de corrosión, un aumento del consumo de productos químicos, formación de depósitos, elevado coste de evaporación de la lejía blanca, necesidad de purgar los cloruros y los metales, etc.

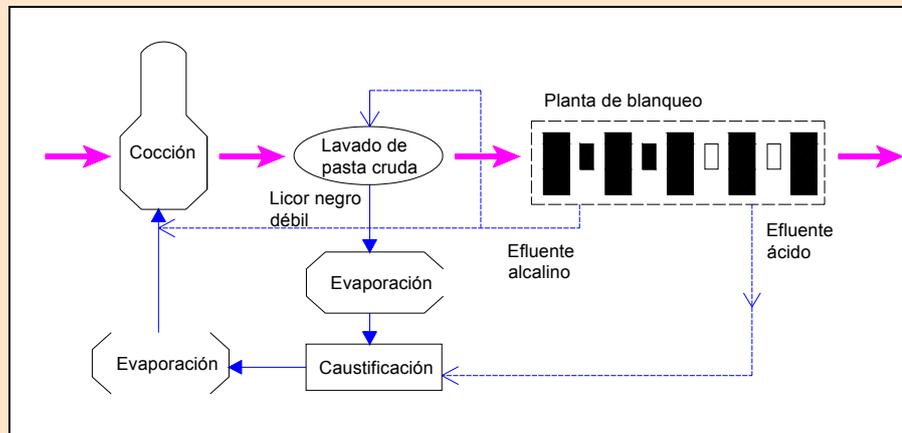


Figura 6.2.11. Esquema de recirculación de los efluentes ácido y alcalino de blanqueo a la recuperación de lejías.

En la práctica sólo se ha logrado un cierre parcial, aplicando por ejemplo el concepto de BFR® (Bleach Filtrate Recycle). Considerando un tratamiento para la eliminación de cloruros CRP® (Chloride Renewal Process) y un sistema para la eliminación de metales MRP® (Metal Removal Process).

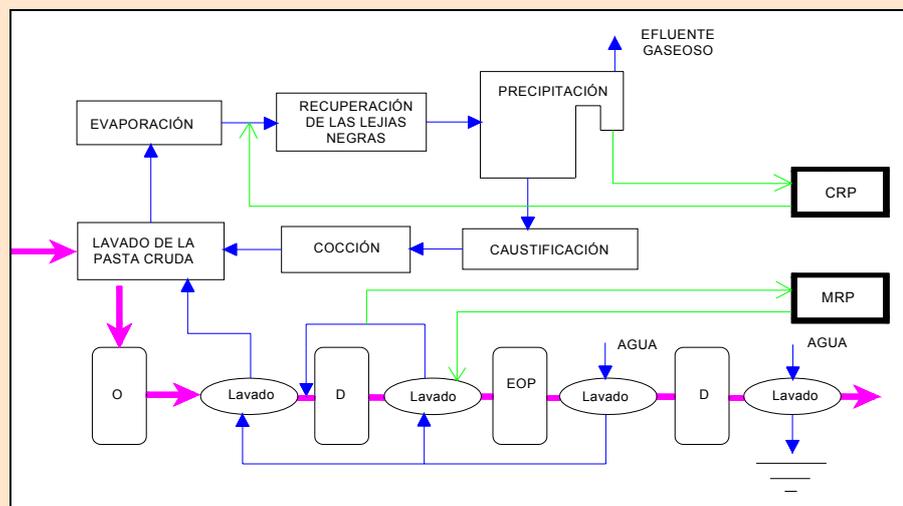


Figura 6.2.12. Esquema de un tratamiento para la eliminación de cloruros CRP® y un sistema para la eliminación de metales MRP®.

A continuación se muestran ejemplos del circuito de aguas de una planta con 4 y con 3 lavadores. El agua fresca o las aguas blancas se introducen en las duchas inferiores del último lavador y se utilizan en contracorriente, por lo que acaba mayoritariamente en las aguas residuales. El agua caliente se utiliza en las duchas superiores de los lavadores y abandona la planta con la pasta.

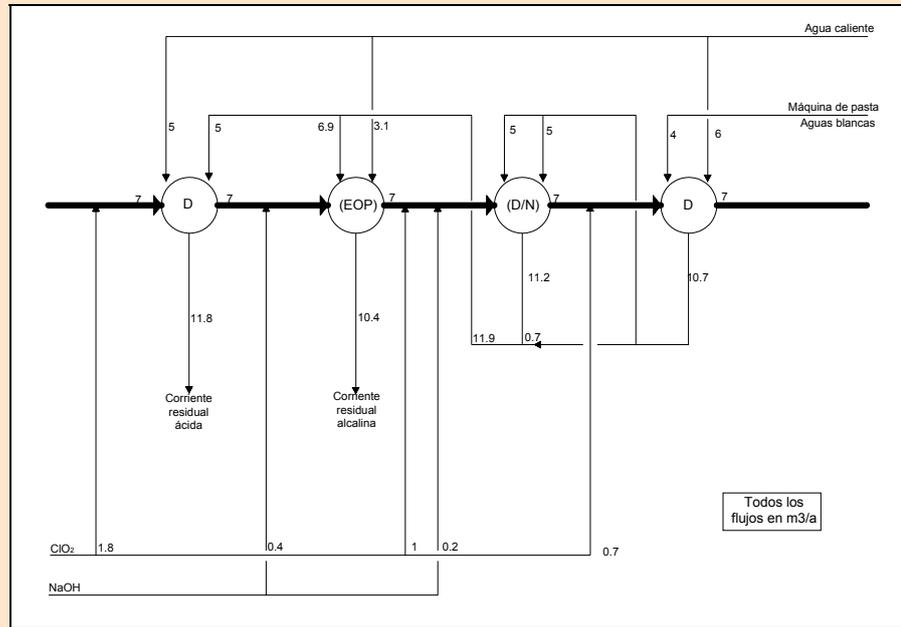


Figura 6.2.13. Esquema de un circuito de aguas de una planta con 4 lavadores.

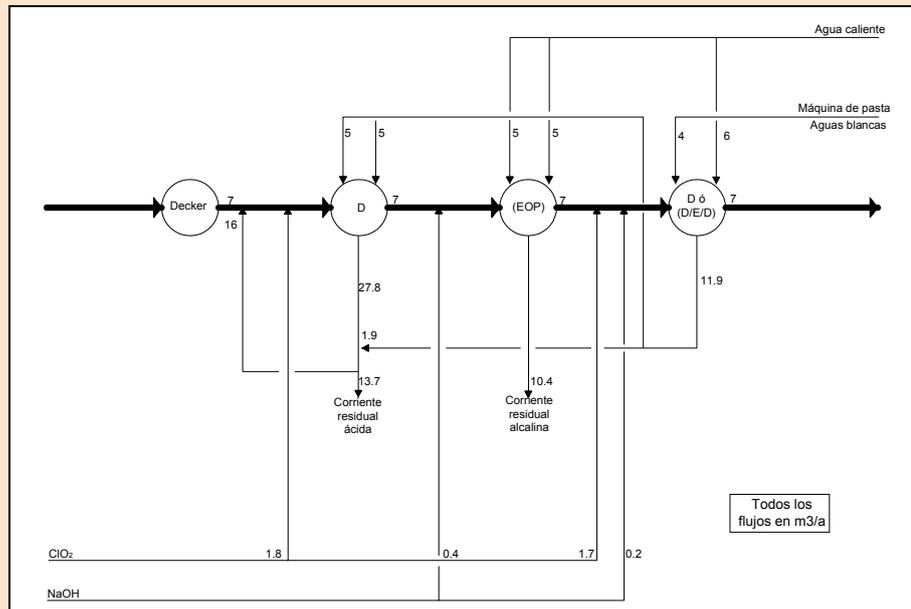


Figura 6.2.14. Esquema del circuito de aguas de una planta con 3 lavadores.

Para cerrar los circuitos y evitar el arrastre de productos de blanqueo con la pasta hacia la máquina de papel es imprescindible separar las aguas de la pasta. Para ello se utilizan prensas en la etapa final del blanqueo que permiten aumentar la consistencia de la pasta a la salida del blanqueo del 10-15% hasta un 25-35%.

Comentarios / Ejemplos de aplicación

Las aguas residuales de blanqueo constituyen aproximadamente un 50-70% del total de aguas residuales de la fábrica de pastas. El cierre parcial del circuito de aguas de blanqueo tendrá, por tanto, un impacto directo sobre las aguas residuales globales de la fábrica.

Los factores que determinan la reutilización de agua son: El diseño de los lavadores, la carga de pasta utilizada, el número de lavadores utilizados, el diseño del tanque de almacenamiento de aguas de filtrado, etc.

	<p>Un óptimo control del pH es esencial en cada etapa de blanqueo para evitar efectos negativos de productos químicos residuales que disminuyen la eficacia de otros agentes de blanqueo y pueden llegar a disminuir la blancura final de la pasta.</p> <p>Los problemas asociados con el cierre de los circuitos de aguas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de cloruros: problemas de corrosión en los evaporadores y en la caldera de recuperación. Este problema es especialmente grave en plantas que utilizan compuestos de cloro para el blanqueo. • Acumulación de elementos ajenos al proceso: Suelen ser de naturaleza inorgánica solubles en medio ácido y precipitan en medio básico. Producen incrustaciones y depósitos (Al, Si, Ca, Ba); Corrosión (Cl, K, Mg); taponamientos en el horno de recuperación (Cl, K); acumulación de inertes en el ciclo de cal (P, Mg, Al, Si); disminuyen la eficacia de los agentes oxidante de blanqueo H₂O₂ y O₃ (Mn, Fe, Cu); tienen un impacto ambiental en las aguas (N, P, Cd, Pb), etc. • Modificación de la relación Na/S: la recirculación de efluentes de blanqueo puede variar la sulfidez del medio de cocción. En general suele haber mas pérdidas de Na que de S por lo que se debe purgar azufre del sistema de forma periódica. • Acumulación de materia orgánica: puede afectar a la calidad de la pasta, al consumo de agentes de blanqueo y puede dar lugar a la formación de depósitos. <p>Hay distintas posibilidades para minimizar el consumo de agua durante el blanqueo. Algunos ejemplos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el uso de agua fresca. Utilizarla sólo en las duchas de los lavadores de las últimas dos etapas. • Control del caudal de las duchas de lavado en función de la producción. Mejorar la distribución del agua de las duchas. • Control de las consistencias de salida de los lavadores. Mantener la máxima consistencia mientras se alcance un ratio de lavado bueno. • Control del ratio de la relación agua-pasta de lavado en las distintas etapas (optimizando el consumo de agua en relación a la blancura deseada) • Control del aire presente en las aguas de filtrado. • Optimizar el número de lavadores: por ejemplo no es imprescindible un lavador después de las etapas H, D₁ o E₂. • Optimizar el funcionamiento de los lavadores. • Utilizar filtrados para la limpieza de las telas. • En fábricas integradas sustituir agua fresca por aguas blancas. • Realizar la primera etapa de blanqueo a media consistencia. • Reutilizar filtrados de blanqueo para lavar la pasta cruda.
<p>Alternativas adicionales</p>	<p>En los efluentes de procesos TCF existe una concentración de agentes quelantes (EDTA y DTPA) de 10-15 mg/L cuando se utilizan 2kg de quelante/t de pasta. Aunque estos compuestos no son tóxicos por si mismos, se teme que puedan movilizar metales de los sedimentos, por lo que se considera la alternativa de su eliminación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aunque en el tratamiento biológico convencional sólo se elimina el 10% del EDTA de las aguas una modificación del pH de tratamiento de 7 a 8 ó 9 permitiría una eliminación del 50%. Así se reduciría la concentración de EDTA en las aguas, a 2-4 mg/L. Una vez optimizado el proceso, la degradación de la materia orgánica no se vería afectada. • Tratamiento de los efluentes de las etapas quelantes por separado para separar los metales de los agentes quelantes y eliminarlos del sistema, mientras que el efluente tratado se recircula. De este modo se puede reducir el consumo de quelantes en más del 50%. La separación de los metales se consigue en medio alcalino y a continuación es necesario producir su desestabilización y precipitación mediante los agentes químicos adecuados (por ejemplo con el sistema PEO/resina fenólica). Se estima una eliminación del 80% de Ca, Mn y Fe aunque esta alternativa todavía no está muy extendida y no se disponen de muchos datos industriales.

	<p>Figura 6.2.15. Esquema de proceso del tratamiento de los efluentes de las etapas quelantes por separado.</p>
Aspectos económicos	<p>Es difícil estimar los costes económicos. La aplicación de algunas buenas prácticas en la gestión del agua puede realizarse con costes bajos. Sin embargo, para el cierre de circuitos se tienen que llevar a cabo inversiones considerables: reconstrucción total del sistema de distribución de agua en la planta de blanqueo; tanques de almacenamiento de aguas de filtrado; implantación de un control estratégico del sistema de agua, etc.</p>

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.7. Clarificación de aguas por flotación con aire disuelto
Proceso y Actuación	<p>Proceso: Producción de pastas de papel recuperado y producción de papel. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.</p>
Etapa / Operación	<p>Reciclado de las aguas de proceso en plantas de pasta o de papel. Se utiliza mucho para reciclar las aguas en plantas de papel recuperado con destintado.</p>
Problemática medioambiental	<p>El sector papelero consume una gran cantidad de agua por lo que es necesario aumentar el grado de cierre de los circuitos. Para cerrar los circuitos evitando la acumulación de contaminantes es necesario clarificar las aguas de proceso antes de su reutilización.</p> <p>La mejor técnica disponible hoy en día para la eliminación de sólidos en suspensión y materia disuelta y coloidal consiste en la flotación con aire disuelto (DAF).</p>
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del contenido en sólidos y materia disuelta y coloidal del agua. • Ajuste de la calidad del agua para su reutilización en un circuito cerrado (grado de cierre determinado). • La saturación de aire (oxígeno) del agua de proceso previene la formación de bacterias anaerobias. <p>La principal ventaja de la DAF es que además de eliminar los sólidos en suspensión se puede eliminar parte de la materia coloidal presente en las aguas, que en plantas con destintado es relativamente alta. Usando la técnica DAF para el tratamiento de las corrientes adecuadas se puede ajustar continuamente el grado de cierre de los circuitos del sistema de agua, alcanzando la calidad de agua requerida para su reutilización en distintas partes del proceso, dependiendo de la concentración de basura aniónica en el circuito, del consumo de aditivos y de la calidad del producto requerida.</p>
Descripción	<p>La flotación por aire disuelto (DAF) es un proceso para la eliminación del material fino en una suspensión acuosa. La energía necesaria para la flotación eficaz se aporta en la forma de burbujas de aire extremadamente finas que se unen al material en suspensión. La atracción entre las microburbujas y las partículas es un resultado de las fuerzas de adsorción, que son función de las características de la superficie de la partícula, y de la atracción física en la partícula. La unión de dichas burbujas a la partícula reduce su densidad dando por resultado una creciente flotabilidad, produciéndose la</p>

ascensión de dichos agregados a la superficie, formándose espumas. Los lodos flotados se separan, se desgotan y se evacuan con los residuos sólidos de la planta.

Generalmente, se utilizan coagulantes y/o floculantes para favorecer la desestabilización de la materia disuelta y coloidal, formando flóculos que se unen más fácilmente a las burbujas formadas.

La eficiencia óptima del sistema es buena, pero depende de diversos factores que deben ser monitorizados y controlados: pH, caudal, tamaño de las burbujas de aire, consistencia de las aguas, dosificación de floculantes, etc.

La suspensión a tratar, proveniente del proceso, se satura en aire, total o parcialmente y se introduce por la parte inferior de la célula de flotación donde se expande y como resultado se desprenden burbujas de aire que estaban absorbidas en el seno del líquido. Las burbujas formadas atrapan las partículas de sólido y suben a la superficie, formando espumas que serán recogidas para su eliminación por medios mecánicos, mediante un sistema denominado cucharón, que no es más que un tronco de cono que gira sobre la superficie del agua, recogiendo las espumas formadas. El cucharón tiene en su interior una espiral para romper las espumas y que éstas se recojan más fácilmente por el depósito interior de la célula.

Se produce, igualmente, un fenómeno de sedimentación de las partículas y de los agregados. Este sedimento es un desecho que se recoge mediante rascadores situados en el fondo del depósito y se eliminan por la parte inferior de la célula.

Las aguas clarificadas, se obtienen por la parte lateral de la célula, donde la formación de espumas es menor.

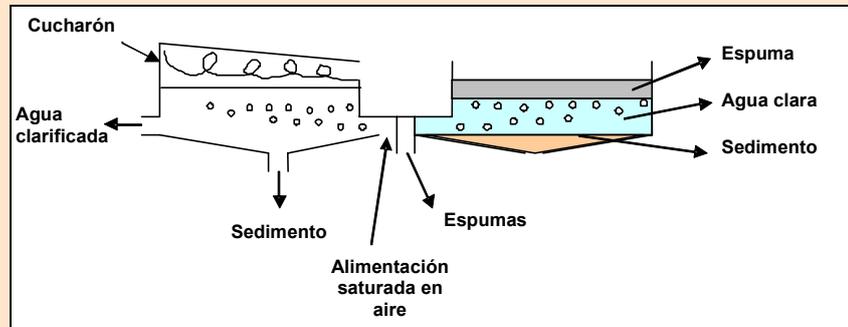


Figura 6.2.16. Obtención de agua clarificada con proceso DAF.

Procedimiento

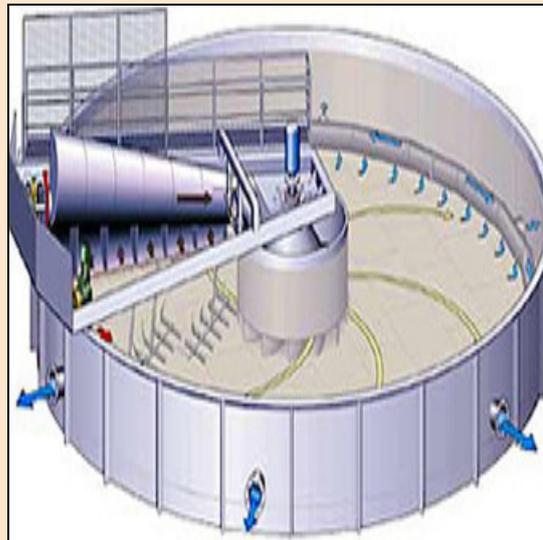


Figura 6.2.17. Principio de operación de una DAF.

Estos equipos pueden trabajar en 3 modos de operación distintos, dependiendo de la fracción de agua que se satura con aire en el depósito de saturación de aire:

- Modo de flujo parcial, en el que una parte de la alimentación pasa por el depósito de saturación y luego es mezclada de nuevo con la corriente principal.

- Modo de flujo total, en el que toda la alimentación es saturada en aire.
- Modo de reciclado, en el que la corriente que es sometida a saturación no es la corriente de alimentación principal, sino una parte del clarificado obtenido en el propio equipo de flotación, que se recircula a través del depósito de saturación.

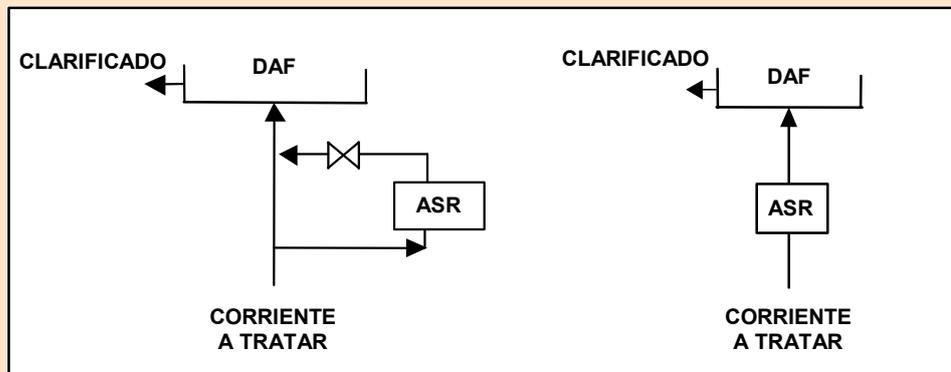


Figura 6.2.18. Esquemas de proceso de Modo de Flujo Parcial y Modo de Flujo Total, respectivamente.

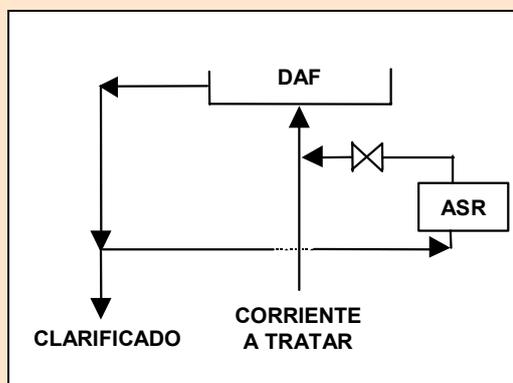


Figura 6.2.19. Esquema de proceso de Modo de Reciclado.

Comentarios

En la fabricación de papel el uso de células de flotación por aire disuelto está bastante extendido, sobre todo en el tratamiento de corrientes residuales para la eliminación de los contaminantes y la recirculación de dichas corrientes. Así se pueden utilizar en los principales lazos de proceso, tanto en la fabricación de pastas como de papel. Una posible ubicación es para el tratamiento del filtrado claro de los filtros de discos. Otra opción es su incorporación dentro del tratamiento de lodos, para el tratamiento de las aguas provenientes de la mesa de gravedad y de las prensas de tornillo.

A veces se combina la mejora del sistema de clarificación de las aguas con mejoras en los circuitos de agua. Se puede aplicar tanto en fábricas de papel recuperado existentes como en nuevas.

Experiencias operacionales

La eficacia del sistema viene dada por los siguientes parámetros:

- Nivel de líquido en la célula; dependiendo del grado de eliminación de espumas que se desee, un mayor nivel de líquido supone una mayor cantidad de rechazos recogidos por el cucharón, pero también una reducción en determinados casos del rendimiento del proceso. Este nivel se controla mediante el tubo de descarga.
- Velocidad de giro alrededor del eje de la célula. A mayor velocidad de paso del cucharón sobre las espumas, mayor es la capacidad total de recogida, pero puede suponer turbulencias que empeoren el rendimiento del proceso.
- Velocidad de giro del cucharón sobre su propio eje. Determina la cantidad de espuma evacuada y el estado de ésta. Si la velocidad es demasiado elevada se puede producir el rebose del cucharón, con la consecuente pérdida de eficacia del proceso.
- Presión del aire en el reactor, que determina la cantidad de aire disuelta en el líquido y por lo tanto la cantidad y tamaño de las burbujas formadas. Se debe tener en cuenta que la solubilidad del aire disminuye cuando aumenta la temperatura.
- Relación entre el caudal de presurización y caudal de flotación.

Es importante considerar, además, la posible incorporación de un aditivo para favorecer la eliminación de partículas. Generalmente se añaden floculantes o coagulantes en dosis relativamente bajas

(2-5 mg/L). Estos compuestos producen agregados de partículas que serán fácilmente arrastrados por las burbujas. Los agregados de gran tamaño suben inmediatamente y se recogen en la parte más cercana al centro de la célula, mientras que las de pequeño tamaño son proyectadas hacia el exterior por fuerza centrífuga, donde las burbujas de mayor tamaño pueden arrastrarlas hacia la superficie.

Optimizando la dosis de productos químicos se pueden alcanzar eficacias de mas del 98% en la reducción de turbidez y sólidos en suspensión. La eliminación de DQO depende de las características de cada proceso en ocasiones se han obtenido reducciones del 5-15%. También se ha observado que se pueden eliminar microstickies y stickies secundarios con esta técnica.

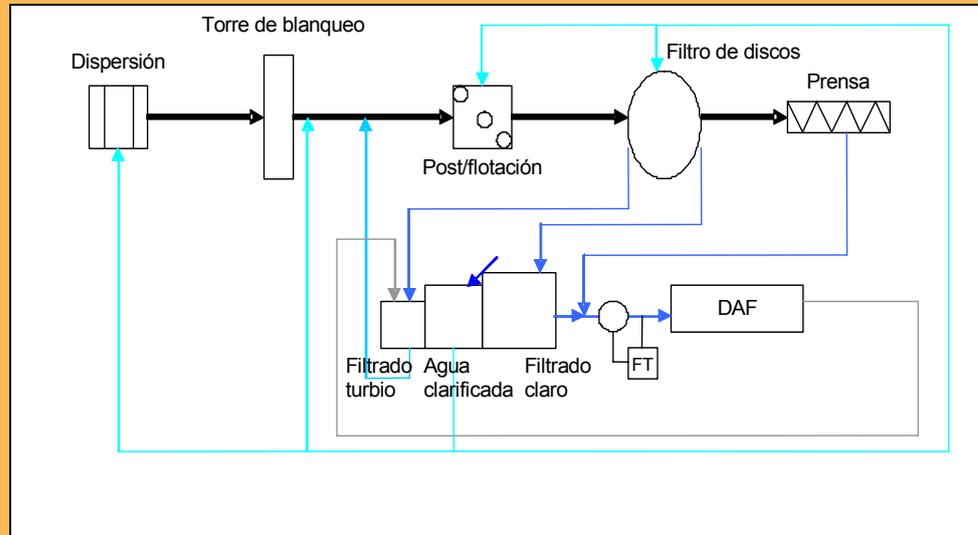


Figura 6.2.20. Ejemplo 1: Tratamiento de aguas de proceso en una planta de destintado.

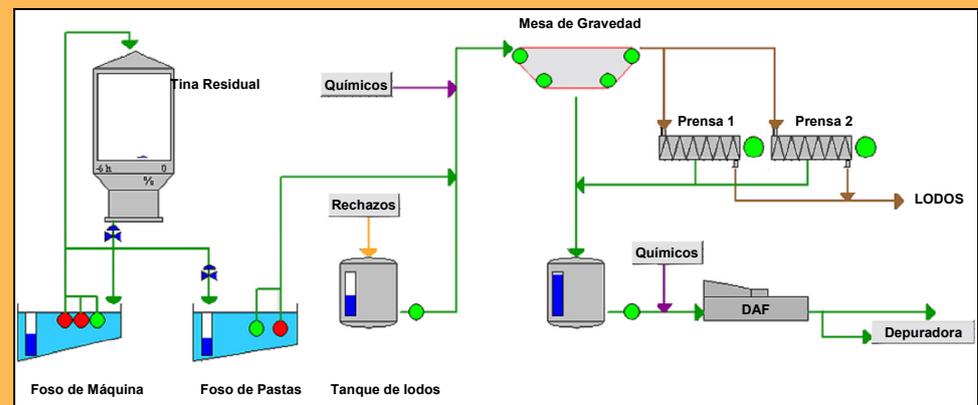
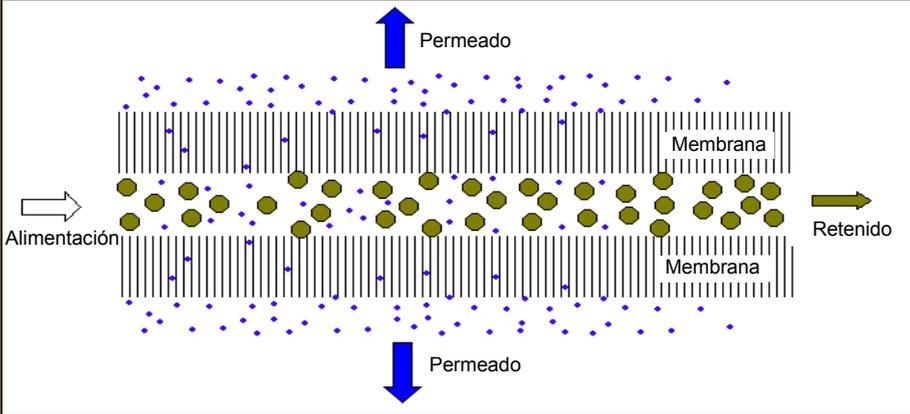


Figura 6.2.21. Ejemplo 2: Tratamiento de aguas de desgote de lodos.

<p>Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)</p>	<p>6.2.8. Clarificación de aguas con sistemas de membranas</p>
<p>Proceso y Actuación</p>	<p>Proceso: Producción de papel. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.</p>
<p>Etapa / Operación</p>	<p>Reciclado de las aguas de proceso en plantas de pasta o de papel. También se puede utilizar para reciclar las aguas en plantas de papel recuperado con destintado.</p>
<p>Problemática medioambiental</p>	<p>El sector papelerero consume una gran cantidad de agua por lo que es necesario el aumento del grado de cierre de circuitos. Para aumentar el cierre de los circuitos evitando la acumulación de contaminantes es necesario clarificar las aguas de proceso antes de su reutilización.</p> <p>Una filtración convencional no puede eliminar eficazmente los sólidos y materia coloidal por debajo de 1 µm de tamaño. Una alternativa para dicha clarificación es la floculación de la materia coloidal y su filtración con membranas.</p>

<p>Beneficios potenciales de la alternativa de PL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación próxima al 100% de la materia orgánica y en suspensión (sólidos en suspensión, materias coloidales, basura aniónica, compuestos orgánicos de elevado peso molecular) sin introducción de compuestos indeseables en los circuitos de agua. • Los filtros membrana de tamaño de poro pequeño (Nano Filtración (NF) y Ósmosi Inversa (OI)), pueden reducir la cantidad de materia inorgánica; pero el requerimiento de energía/presión de estos sistemas aumenta exponencialmente con el grado de eliminación de sales o compuestos orgánicos de bajo peso molecular. • Disminución de la carga de nutrientes (N y P) en las aguas de vertido, producida indirectamente por la reducción de la cantidad de agua consumida y tratada biológicamente.
<p>Descripción</p>	<p>La filtración por membrana es una técnica que separa las moléculas en función de su tamaño. El filtrado se denomina permeado y el concentrado se denomina retenido. El modo de operación se muestra en la figura 6.2.22. Lo más habitual es utilizar un gradiente de presión para producir la separación.</p>  <p>Figura 6.2.22. Principio de la filtración por membrana.</p> <p>Según los tamaños de poro, se pueden distinguir diferentes procesos de membranas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Microfiltración</i>, la cual opera a una presión por debajo de 1 atm, y utiliza membranas de 0,1-0,2 μm de tamaño de poro, puede ser utilizado cuando se acepta una cantidad de 1-5mg/l de sólidos muy finos tras el tratamiento. • <i>Ultrafiltración</i> (UF), opera a 1-2 atm de presión y está considerado como una posible solución para la eliminación del 100% de los sólidos totales en suspensión, el 99% de las bacterias, el 100% de la turbidez (se elimina toda la materia coloidal) y el 45-70% de la anionicidad. La DQO disminuye sobre un 10-20%. Esto significa que la UF permite aún el paso de sustancias orgánicas (compuestos orgánicos de bajo peso molecular) y materia inorgánica soluble. Debe considerarse que la UF de las aguas blancas mejora la calidad del agua recirculada, la cual puede ser utilizada en rociadores de agua (de baja y alta presión), en la sección de la tela, en la dilución de compuestos químicos, como agua para lubricación de la sección de prensado u otros propósitos de lavado y limpieza. Así que, la eficiencia de eliminación de las membranas de UF depende de los niveles permitidos de contaminantes en la máquina de papel, así como de los usos específicos del agua reciclada. • <i>Nanofiltración</i> (NF) o <i>ósmosis inversa</i> (OI), opera a presiones de 15-25 atm. Estos métodos todavía no se han considerado en la industria papelera para ser aplicados al tratamiento de aguas blancas.

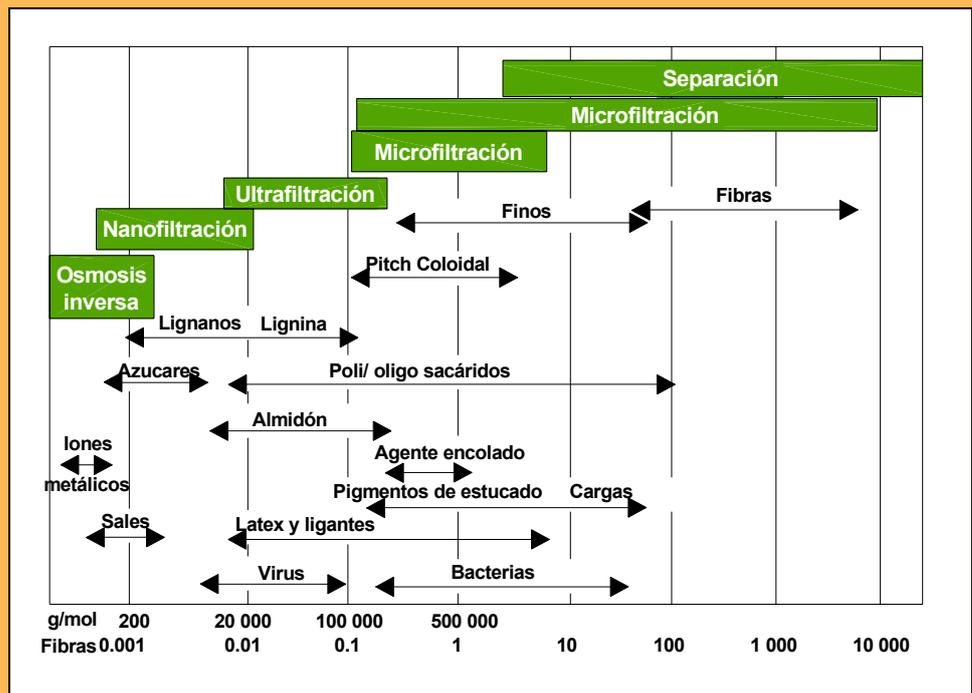


Figura 6.2.23. Separación de contaminantes para diferentes membranas.

El concentrado procedente de la membrana de filtración (3-5% de la carga) es conducido hacia una planta de tratamiento biológico o bien se incinera. Este último caso requiere de una concentración inicial previa a la combustión.

Hoy en día se están llevando a cabo estudios sobre el posible aprovechamiento del permeado en otros propósitos para reemplazar el agua fresca.

A continuación se mencionan algunos aspectos que afectan a la selección de la tecnología de membrana:

- La corriente de entrada, su composición y la carga hidráulica.
- El caudal de agua clarificada y la calidad requerida.
- Las filtraciones con elevadas presiones producen aguas muy clarificadas, pero consumen más electricidad y deben ser equipadas con sistemas de tratamiento eficientes para evitar el taponamiento de las mismas.
- Requerimientos de mantenimiento (estructuras simétricas o asimétricas de membrana, lavado con ácido o álcali, capacidad de espacio, limpieza automática o continua). Las membranas simétricas tienen mayor tendencia al ensuciamiento. El taponamiento puede ser evitado utilizando pre-filtros y manteniendo condiciones de alta turbulencia, pero esto requiere un mayor consumo energético.

Procedimiento

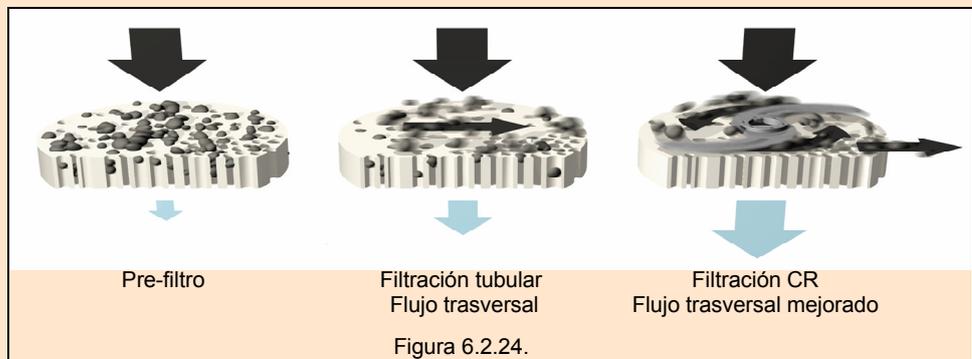


Figura 6.2.24.

- Tratamiento final y disposición de los lodos o concentrados. El residuo líquido puede presentar una concentración suficiente como para causar efectos tóxicos, por lo que se puede requerir una concentración adicional y absorción de manera que sea eliminado como combustible sólido en incineración.

	Las aguas blancas una vez clarificadas en el filtro de discos y en el sistema de filtración pueden ser clarificadas por UF. El número de filtros en la operación regula la capacidad de permeación de la UF.
Experiencias operacionales	Este proceso sólo se ha aplicado de manera completa en unas pocas fábricas. Una de las limitaciones prácticas que presentan los filtros de membranas es el material de la membrana por sí mismo, el cual es sensible al taponamiento si no se equipa el sistema con un pretratamiento para la eliminación de sólidos, o tratamientos de limpieza o bien se mantiene una turbulencia fuerte cerca de la superficie de la membrana. Se requiere, a su vez, el lavado de los filtros mediante soluciones alcalinas o ácidas (NaOH, detergentes, etc.), generando pequeñas cantidades de residuo líquido. Las membranas deben ser cambiadas cada cierto tiempo, la vida media de una membrana se encuentra alrededor de 15 meses. Esta técnica puede ser aplicada en los casos en que la disponibilidad de agua es escasa.
Aspectos económicos	La inversión de un proceso de UF es de 1,1 Meuros para un caudal de 1500 m ³ /d. Se estima que el retorno de la inversión es de aproximadamente 5 años. El coste de la filtración de aguas blancas con membranas se encuentra alrededor de los 0,3-0,4 euros/m ³ . Los costes de mantenimiento y servicio se encuentran alrededor de los 0,05 euros/m ³ , el coste de energía sobre los 0,07 euros/m ³ y la limpieza de membranas con compuestos químicos 0,02 euros/m ³ . El coste operacional total es de 0,14 euros/m ³ , aproximadamente.

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.9. Gestión óptima del agua. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación de los circuitos de agua y flujo en contracorriente
Proceso y Actuación	Producción papel. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.
Etapas / Operación	Circuito de agua.
Problemática medioambiental	Elevado consumo de agua y costes de tratamiento de aguas residuales elevados. Mala gestión del agua en la industria.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Reducción del consumo de agua fresca sin incrementar la concentración de contaminantes en el circuito de agua de la máquina de papel, por lo que no afecta a la calidad del producto final ni a la productividad de la máquina. Reducción del caudal de aguas residuales, mejora de la eficacia del tratamiento de las plantas de aguas residuales en funcionamiento. La separación de los circuitos de aguas permite la aplicación complementaria de otras alternativas de reducción de la contaminación basadas en el tratamiento interno de las corrientes más contaminadas y su recirculación.
Descripción	Los objetivos de una óptima gestión del agua es minimizar el consumo de agua en cada etapa del proceso, recircular las aguas directamente en aquellos puntos en los que sea posible, clarificar determinadas corrientes para su reutilización, cerrar los circuitos de aguas sin afectar a la calidad del producto ni a la productividad de la máquina y minimizar el impacto medio ambiental de los efluentes finales. Una alternativa muy utilizada en las fábricas integradas de pasta y papel es la separación de los distintos circuitos de agua y el flujo en contracorriente de las aguas blancas procedentes de la máquina de papel hacia la planta de pasta. El exceso de aguas blancas, una vez clarificadas en los recuperadores de fibras, se utiliza, en lugar del agua fresca, en la planta de blanqueo y el exceso de agua procedente de la planta de blanqueo se utiliza, en lugar de agua fresca, en la fabricación de pasta. Con este sistema de recirculación se puede reducir en gran medida el consumo de agua, de tal forma que el consumo de agua fresca se produce sólo en el sistema de la máquina de papel, donde la demanda de calidad es mayor (generalmente se utiliza para preparación de productos químicos y para determinadas duchas). El consumo de agua depende de la calidad del producto fabricado. Por ejemplo en el caso de papel tisú se requiere un consumo elevado de agua fresca para mantener una elevada eficacia en el lavado de la tela de formación.

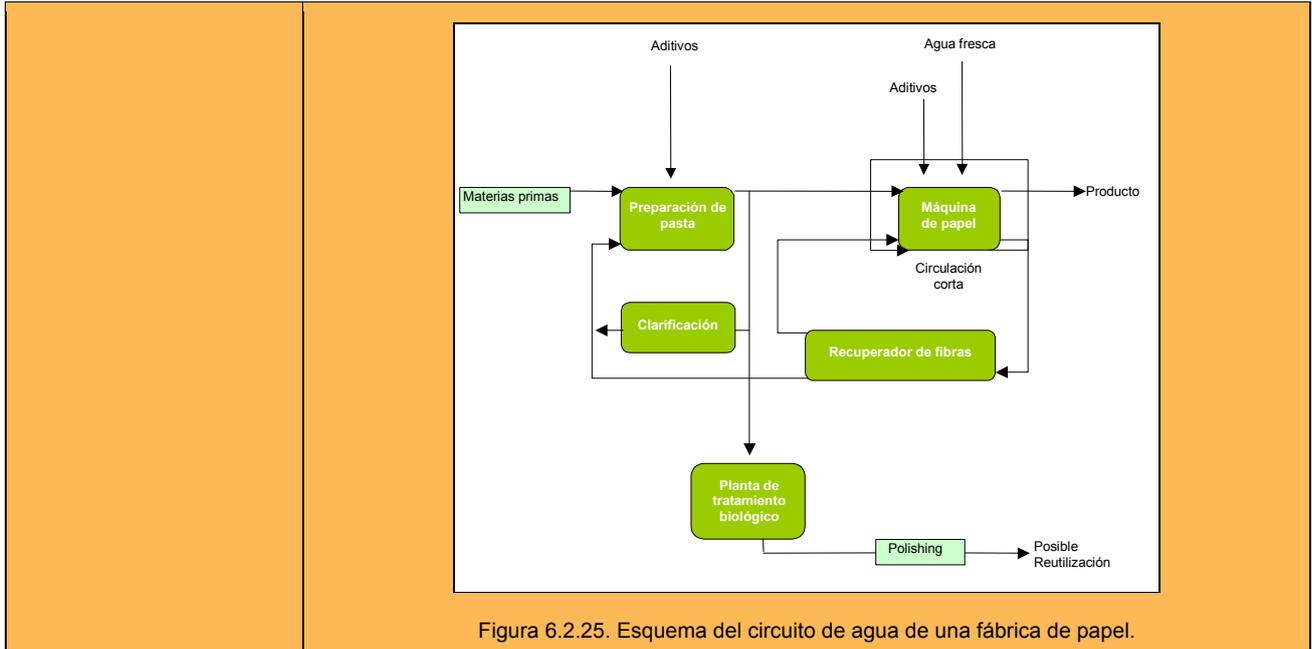


Figura 6.2.25. Esquema del circuito de agua de una fábrica de papel.

Procedimiento
 Es importante minimizar el flujo de agua en la dirección del producto para evitar el arrastre de contaminantes hacia los circuitos de calidad superior. Para ello es necesario aumentar al máximo la consistencia de la pasta que entra en la planta de blanqueo y de la pasta que va a la máquina de papel. La separación de los circuitos de agua se realiza mediante espesadores, por ejemplo con tornillos o prensas de desgote, que aumentan la consistencia de la pasta hasta un 30-35%.

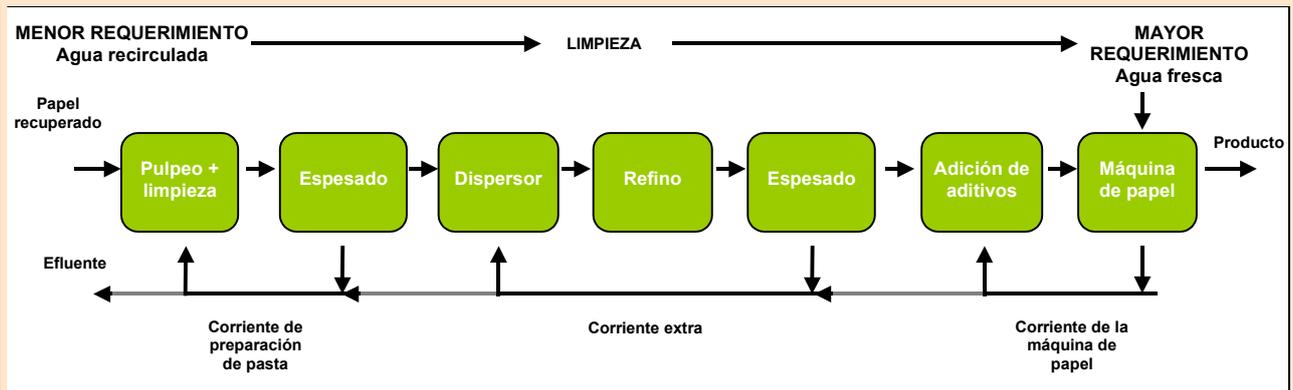


Figura 6.2.26. Recirculación de agua en fábricas de papel con separación de efluentes y circulación a contracorriente.

Comentarios
 Esta técnica de proceso integrada puede ser aplicada tanto en fábricas nuevas como en existentes. El principio descrito de reciclado de aguas blancas mediante un flujo en contracorriente se utiliza fundamentalmente en plantas integradas y en plantas de papel que utilizan papel recuperado como materia prima. En este caso las aguas blancas se utilizan en la planta de preparación de la pasta que puede presentar 1 o 2 circuitos de aguas separados. Las aguas más sucias son las que se utilizan en el pulper para la desintegración del papelote.

Aspectos económicos
 Los costes de esta medida dependen del reordenamiento necesario del sistema de agua y de las instalaciones adicionales requeridas.

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.10. Depuración por lavado de los gases procedentes de la caldera de recuperación
Proceso y Actuación	Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Cambios tecnológicos.
Etapa / Operación	Combustión de leñas negras.

Problemática medioambiental	Altas emisiones de SO ₂ .
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> • La instalación de un lavador a la salida de los gases de la caldera de recuperación reduce en más de un 95% las emisiones de SO₂ y TRS. Por lo que las emisiones se reducen de 0,5-2 kg S/t a 0,1-0,3 kg S/t. • Recuperación de energía: producción de agua caliente. <p>Esta técnica es una alternativa de la medida 6.3.18. de incremento de la concentración de las lejías negras y es complementaria a la alternativa 6.2.14. donde los gases de combustión se tratan en un precipitador electrostático. La combinación de ambas alternativas permite la reducción de las emisiones de gases ácidos en una proporción superior al 95% y de las partículas no retenidas por el precipitador electrostático en un 90%.</p>
Descripción	Procedimiento húmedo de desulfuración de gases basado en el empleo como sistema absorbente de una solución alcalina, dado el carácter ácido del gas a eliminar (SO ₂).
Procedimiento	<p>El lavador consta en general de dos etapas: un contacto previo con la disolución de lavado, en la que se enfrían los gases calientes por saturación con el agua vaporizada, y una segunda etapa, por la que se recircula la disolución fría de lavado.</p> <p>El SO₂ y las partículas son eliminadas en la zona de lavado.</p> <p>El lavador requiere de álcali en forma de lejía blanca oxidada, lejía débil o hidróxido de sodio, para el control del pH a 6-7. Un pH superior favorece la eliminación de H₂S, sin embargo también se produciría la absorción de CO₂, por lo que el consumo de álcali sería excesivo.</p> <p>La disolución de lavado agotada se emplea para la preparación de lejías blancas, por lo que el lavador puede operar con vertido cero de agua.</p> <p>Antes de la salida los gases pasan por un eliminador de nieblas.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 6.2.27. Imagen eliminador de nieblas.</p> </div>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	<p>El empleo de lavadores presenta los siguientes inconvenientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energía en la circulación del gas y de la disolución lavadora. • Pérdida de flotabilidad del penacho de la chimenea por enfriamiento de los gases. • Los gases de emisión están saturados en vapor, por lo que el penacho es visible, especialmente en climas fríos. <p>La instalación de lavadores se puede aplicar sin problemas tanto en calderas existentes como en nuevas, aunque el coste en el primero de los casos es superior.</p> <p>En la actualidad esta técnica puede ser aplicada alternativamente a la técnica de incremento en la concentración de las lejías negras (alternativa 6.3.18), que es la más utilizada, puesto que las emisiones de SO₂ son mucho menores.</p>
Aspectos económicos	<p>El coste de inversión para una planta de pasta kraft blanqueada con una capacidad de producción de 250.000 y de 500.000 t/a está alrededor de los 7,2 Meuros y 10,4 Meuros respectivamente. Este coste incluye el lavador, las bombas necesarias, la electrificación e instrumentación.</p> <p>Los costes operacionales se encuentran alrededor de los 0,6 y 1,0 Meuros/a respectivamente.</p>

<p>Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)</p>	<p>6.2.11. Depuración y reutilización de los condensados más contaminados de la planta de evaporación</p>
<p>Proceso</p>	<p>Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.</p>
<p>Etapa / Operación</p>	<p>Planta de evaporación y etapa de cocción.</p>
<p>Problemática medioambiental</p>	<p>Elevado consumo de agua. Vertido de agua con elevado contenido en materia orgánica volátil (metanol, acetona, terpenos..) y TSR. Para la reutilización de los condensados de evaporadores múltiples, es necesaria la eliminación de compuestos volátiles por stripping. A su vez, los vapores de stripping han de ser condensados para su reutilización como agua de proceso o incinerados.</p>
<p>Beneficios potenciales de la alternativa de PL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la carga contaminante y del olor de los condensados producidos en el proceso Kraft. Reducción de la DQO de las aguas residuales. • Ahorro de agua fresca por reutilización de los condensados. • El stripping de condensados junto con la incineración de los gases no condensables reduce la emisión de compuestos TRS, los malos olores y las emisiones de COV.
<p>Descripción</p>	<p>Los condensados contaminados procedentes de la evaporación y cocción, juntamente con lejías débiles procedente de reboses y pérdidas en el circuito de fabricación, son susceptibles de ser tratados en un stripper, en el que se consigue separar condensados limpios de los gases no condensables.</p> <p>La operación de stripping, se lleva a cabo en una columna con vapor de agua que puede estar integrada en la planta de evaporación o separada.</p> <p>Los condensados limpios obtenidos en el stripping pueden ser reutilizados de nuevo en varias fases del proceso, por ejemplo, como agua de lavado en las plantas de lavado de pasta cruda y de blanqueo.</p> <p>Los vapores de stripping son condensados, rectificados para recuperación de productos orgánicos, o se envían a combustión en la caldera de cortezas, en el horno de cal o en las calderas auxiliares.</p> <div data-bbox="612 1274 1286 1854" data-label="Diagram"> </div> <p>Figura 6.2.28. Columna con vapor de agua donde se lleva a cabo la operación de stripping.</p>
<p>Comentarios / Ejemplos de Aplicación</p>	<p>En general, sólo 1 m³ de los 8-10 m³ de condensados que se producen por tonelada de pasta están muy concentrados, con una DQO de 10-20 kg/m³. El nivel es superior en condensados de maderas duras que blandas. En ocasiones también se tratan los condensados con una carga contaminante media. La eliminación de contaminantes en el stripper es del 90% aunque depende del pH,</p>

	<p>alcanzando valores de DQO de 1,0-1,5 kg/m³. La eliminación de TRS es del 97% y la del metanol del 92%.</p> <p>Se puede llegar a reutilizar entre 6 y 9 m³ de agua/t de pasta, lo que también conlleva un ahorro energético.</p> <p>Una alternativa a este proceso, es la ósmosis inversa, en la que el permeado se emplea como agua de proceso, y los rechazos de ósmosis se separan por rectificación para obtener los compuestos orgánicos.</p>
Aspectos económicos	<p>Los costes de inversión para el sistema de stripper para la fabricación 1.500 t/d de pasta Kraft se encuentran alrededor de 2.0-2.5 Meuros. Se pueden requerir inversiones adicionales para aumentar la capacidad de evaporación, pero ésta depende mucho de la configuración existente. Los costes de actualización de los materiales pueden variar entre 1-4 Meuros.</p> <p>Los gastos de explotación consisten principalmente en el coste de vapor usado en stripping y en el mantenimiento. Si el stripper funciona separadamente de la planta de evaporación, los gastos de explotación son perceptiblemente más altos debido a la demanda de vapor fresco. Los costes se encuentran alrededor de 0.6-0.7 Meuros/a.</p> <p>Si la columna de destilación está conectada entre las etapas de la evaporación los gastos de explotación son más bajos, oscilando entre los 0.3-0.4 MEuro/a.</p>

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.12. Tratamiento de los gases de calderas y hornos con un precipitador electrostático
Proceso	Proceso: Producción de pasta química. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.
Etapas / Operación	Caldera de recuperación de los reactivos y energía de las leñas negras. Caldera de cortezas. Horno de cal.
Problemática medioambiental	Emissiones elevadas de partículas que pueden superar los 2.000 mg/Nm ³ .
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<p>Reducción de las emisiones de partículas, recuperación de reactivos como cenizas volantes.</p> <p>Entre las ventajas de los precipitadores electrostáticos, se encuentra la capacidad de tratar grandes caudales de gas, con pérdidas de carga pequeñas, del orden de 0,25 a 1,25 mbar, puede operar a temperaturas elevadas, hasta 650 °C.</p> <p>El consumo de energía de la precipitación electrostática es inferior al de otros sistemas de depuración de partículas de eficacia semejante, porque la energía actúa sobre las partículas, no sobre el gas portador, lo que puede operar con consumos eléctricos del orden de 0,03 a 0,3 kW por cada 1.000 m³/h de flujo de gas, si bien la mayor parte de esta energía se consume en su forma más costosa, como corriente eléctrica continua de alta tensión.</p>
Descripción	<p>La instalación de un precipitador electrostático (ESP) de dos cámaras reduce la emisión a menos de 50 mg/Nm³, cuando operan con tres cámaras, la emisión de partículas es inferior a 20 mg/Mm³.</p> <p>La instalación de un precipitador electrostático (ESP) reduce las emisiones de partículas en el horno de cal en más del 99%.</p>
Procedimiento	<p>La depuración de partículas en seco permite su recuperación como cenizas volantes, que se emplearán en la caustificación de las leñas verdes. Las cenizas volantes recogidas superan las 2 t/hora.</p> <p>Muchas de las calderas de cortezas operan con un sistema de multiciclones para la retención de las cenizas volantes. La eficacia de depuración aumenta por encima del 99,5% especialmente en partículas finas, cuando se emplea un electrofiltro.</p> <p>La utilización de un electrofiltro presenta las siguientes ventajas: elevada eficacia de depuración para partículas de pequeño tamaño, pérdidas de carga muy bajas para esta eficacia, lo que supone un ahorro energético en impulsión de los gases, permite tratar gases calientes, etc. Como contrapartida, las inversiones son elevadas. Los costes derivados de la energía eléctrica consumida, son comparativamente bajos.</p> <p>Existen tres mecanismos de generación de partículas en las calderas de recuperación de leñas negras:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas de lejía negra fundida o parcialmente quemadas que son arrastradas por el gas. • Partículas de aerosoles (eyectadas), que se forman a partir de gotas de lejías negras y que se secan y queman en la corriente de gas. • Humos submicrométricos, que se forman cuando los compuestos inorgánicos son vaporizados en la zona inferior del horno, condensan cuando los gases se enfrían en la parte superior del horno o en la caldera. <p>Las partículas arrastradas y las partículas grandes eyectadas, tienden a depositarse en la caldera, de manera que su proporción decrece a medida que los gases pasan a través de la caldera, en tanto la proporción de los humos inorgánicos y de las partículas eyectadas de menor tamaño, aumenta.</p> <p>La proporción de cloruros alcalinos, como $Cl/(Na+K)$, que puede dar lugar a depósitos adherentes en las superficies de intercambio térmico, está relacionada con la temperatura de operación del horno y aumenta cuando estas concentraciones superan las cenizas en el 5% en moles. La acumulación de cenizas sobre las superficies de intercambio térmico conduce a la disminución de la velocidad de transmisión de calor. A medida que aumentan los depósitos, y disminuye la cantidad de calor transferido, la temperatura de los gases aumenta y con ella la vaporización de materia inorgánica del horno, con lo que esta situación lleva rápidamente a condiciones no operativas en la caldera.</p> <p>Para reducir el contenido en cloruros, se han propuesto distintos procesos, que incluyen la reducción de los cloruros aportados por los reactivos de cocción y otros productos químicos. Además de esta medida, la solución de los problemas de formación de cenizas adherentes en las superficies de intercambio térmico de las calderas de recuperación, pasa por el control del contenido en cloruros en las cenizas recogidas en el electrofiltro, en la que se concentran las partículas de cloruros, vaporizados como humos inorgánicos.</p> <p>La alternativa más sencilla es la purga de parte de las cenizas retenidas en el precipitador electrostático, eliminando, de la recirculación al tanque de lixiviación de cenizas, una proporción de las cenizas volantes recogidas en el electrofiltro, que está en todo caso condicionada al contenido en cloruros que se introduce en las lejías con los productos químicos y con la madera.</p> <p>Otros procesos de reducción de cloruros comprenden la lixiviación selectiva de cenizas volantes (en las que pasan a disolución predominantemente los cloruros más solubles que el resto de los constituyentes), seguida de etapas de cristalización para separarlos.</p> <p>Los procesos más eficaces, pero de mayores costes de inversión y consumos de energía, se basan en la disolución total de las cenizas y en la separación de compuestos por cristalización fraccionada, en la que las primeras etapas se separan los más insolubles, y en las últimas etapas los más solubles (cloruros).</p>																						
<p>Comentarios / Ejemplos de aplicación</p>	<p>La purga en una fábrica Kraft, con madera de pino del 10 al 12% de las cenizas volantes recogidas en el precipitador electrostático, unida al empleo de productos de bajo contenido en cloruros, permite reducir el contenido en cloruros hasta el 1,5%.</p> <p>La depuración mediante ESP de los gases de la caldera de recuperación de lejías negras supone un consumo eléctrico medio de unos 50kW-h/hora, para un caudal de gases de 500.000 m³/h que presenta una concentración de partículas de entre 1,1 y 4,5 g/ m³ antes de la depuración.</p> <p>Tabla 6.2.2. Ejemplo de parámetros del sistema de eliminación de cloruro potásico</p> <table border="1" data-bbox="496 1485 1394 1957"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parámetros del sistema de eliminación de cloruro potásico de Oji Paper Kasuagi Mill, en las cenizas del precipitador electrostático (ESP)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Capacidad de la caldera</td> <td>2.400 t sólidos secos/d</td> </tr> <tr> <td>Presión del vapor</td> <td>10,8 MPa</td> </tr> <tr> <td>Temperatura del vapor</td> <td>515 °C</td> </tr> <tr> <td>Cenizas tratadas</td> <td>1,8 t/h (aproximadamente ¼ del total retenido en el ESP)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura del tanque de suspensión</td> <td>40 °C</td> </tr> <tr> <td>Temperatura en el tanque de precipitación</td> <td>15 °C</td> </tr> <tr> <td>Relación agua a cenizas del ESP</td> <td>2,3 a 2,6</td> </tr> <tr> <td>Eliminación de potasio</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>Eliminación de cloruros</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Recuperación de sodio</td> <td>70%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Una técnica complementaria a la depuración mediante ESP es el lavado de los gases con disoluciones neutra o débilmente alcalinas, para evitar la carbonatación.</p>	Parámetros del sistema de eliminación de cloruro potásico de Oji Paper Kasuagi Mill, en las cenizas del precipitador electrostático (ESP)		Capacidad de la caldera	2.400 t sólidos secos/d	Presión del vapor	10,8 MPa	Temperatura del vapor	515 °C	Cenizas tratadas	1,8 t/h (aproximadamente ¼ del total retenido en el ESP)	Temperatura del tanque de suspensión	40 °C	Temperatura en el tanque de precipitación	15 °C	Relación agua a cenizas del ESP	2,3 a 2,6	Eliminación de potasio	75%	Eliminación de cloruros	90%	Recuperación de sodio	70%
Parámetros del sistema de eliminación de cloruro potásico de Oji Paper Kasuagi Mill, en las cenizas del precipitador electrostático (ESP)																							
Capacidad de la caldera	2.400 t sólidos secos/d																						
Presión del vapor	10,8 MPa																						
Temperatura del vapor	515 °C																						
Cenizas tratadas	1,8 t/h (aproximadamente ¼ del total retenido en el ESP)																						
Temperatura del tanque de suspensión	40 °C																						
Temperatura en el tanque de precipitación	15 °C																						
Relación agua a cenizas del ESP	2,3 a 2,6																						
Eliminación de potasio	75%																						
Eliminación de cloruros	90%																						
Recuperación de sodio	70%																						

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.13. Mejora en la preparación de pastas con una disminución del consumo de energía y emisiones
Proceso y Actuación	Proceso: Producción de pasta de papel recuperado sin destintado y pasta al sulfito. Actuación: Cambios tecnológicos, buenas prácticas ambientales, reciclaje en origen.
Etapa / Operación	Preparación de la pasta.
Problemática medioambiental	Gran consumo energético. Elevadas emisiones a la atmósfera. Utilización de un número mayor de equipos de los mínimos necesarios.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo energético. • Disminución de las emisiones atmosféricas. • Mejora de la calidad del papel fabricado. • Aprovechamiento de los diferentes tipos de rechazo generados. <p>La demanda de electricidad para la preparación de las pastas y el sistema de flujo de la pasta se encuentra entre el 20 y el 40% del total de la demanda de energía de una planta de papel recuperado sin destintado. La optimización de la preparación de pastas reduce el consumo de energía eléctrica, lo cual conlleva menores emisiones al aire.</p> <p>La mejora de la calidad de las fibras recuperadas y la mayor limpieza de las pastas repercute en una mejora en la calidad del papel fabricado.</p> <p>Los rechazos procedentes de las diferentes etapas del proceso se recogen y se utilizan para diferentes propósitos. Por ejemplo, los rechazos que contienen grandes cantidades de plásticos pueden ser incinerados con el beneficio de la consecuente recuperación de energía. Los rechazos con un elevado contenido en materia orgánica pueden ser usados para compost. Los rechazos con altos contenidos en materiales inorgánicos se pueden utilizar en otros sectores industriales en la fabricación de ladrillos, cemento, etc., o se llevan a vertederos.</p>
Descripción	Hay diferentes objetivos alcanzables con la mejora de la planta de preparación de pastas. Por tanto, el primer paso es la definición del objetivo que se pretende alcanzar en función de las prioridades de la compañía. Por ejemplo, una mejor eliminación de pequeñas impurezas y contaminantes para mejorar la calidad del producto y la eficiencia de la máquina de papel, un aumento del rendimiento de la planta con una disminución de las fibras presentes en los rechazos, o un ahorro energético. Otro objetivo puede ser la simplificación del proceso de preparación de pastas, resultando en un menor consumo de energía, menores pérdidas de materias primas y menor requerimiento de espacio. En este caso se podrían eliminar las etapas de dispersión y depuración tradicional para "productos marrones".
Procedimiento	Los procesos de recuperación de papel empiezan con una eliminación de los componentes no fibrosos (plásticos, metales, madera, arena, etc.) y la eliminación de sustancias perjudiciales como stickies, ceras o trozos de papel sin desintegrar. Los procesos de tamizado y limpieza deben operar en varias etapas (de 2 a 4) con el objetivo de reducir la pérdida de fibras en la etapa final de cada proceso. Posteriormente las fibras se tratan de manera que se controla la calidad del papel producido, por ejemplo se puede fraccionar la pasta en fibras largas y fibras cortas y/ o se pueden realizar operaciones de refinado y de dispersión. Esta alternativa para prevención de la contaminación se basa en la selección y optimización del sistema de tratamiento más adecuado en función de la calidad del producto final, alcanzando un equilibrio entre la limpieza de la pasta, las pérdidas de fibras, los requerimientos energéticos y los costes de operación.
Comentarios	La mejora de la planta de preparación de pastas, así como del sistema de flujo de la pasta puede llevarse a cabo en plantas ya existentes. Una planta de preparación de pastas estándar normalmente utiliza más equipos de los mínimos necesarios, por tanto, es fácil llevar a cabo el cierre de algunos sistemas, siempre y cuando se redefina el sistema de tuberías. En el caso de querer aumentar la calidad de la pasta normalmente los tamices presentan el cuello de botella cuando se instalan cestas de 0,15 mm o menores, en este caso es necesario invertir en tamices presurizados. Existen muchas configuraciones de la planta de preparación de pastas que se han desarrollado, bien para mejorar el tratamiento de las pastas o para conseguir un menor consumo energético, sin existir una única configuración comúnmente aceptada. Por ejemplo, en la fabricación de papel de calidades marrones se pueden plantear distintas configuraciones para reducir los consumos energéticos o para aumentar la calidad de la pasta. El consumo de energía disminuye si la pasta se fracciona después del tamiz de gruesos y sólo la fracción

	<p>de fibras largas se dispersa, puesto que esta etapa es una de las que requiere un mayor consumo energético (30-80 kWh/t).</p> <p>Si los requerimientos de calidad de las pasta lo permiten se podría eliminar totalmente la etapa de dispersión, consiguiendo un importante ahorro energético (aproximadamente en un 30%), pero el nivel de manchas y stickies en el producto final aumentarían y la eficacia de la máquina de papel podría verse afectada.</p>
Aspectos económicos	El incremento de los costes de inversión para la mejora de la planta de preparación de pastas debe ser evaluado junto a la mejora de la eficiencia en la máquina de papel.

Alternativa de prevención en origen de la contaminación (APOC)	6.2.14. Aplicación de cogeneración de vapor y energía
Proceso y Actuación	Proceso: Fabricación de papel. Actuación: Cambios tecnológicos, reciclaje en origen.
Etapa / Operación	Procesos de fabricación de pasta y papel.
Problemática medioambiental	Elevado consumo de energía en la fabricación de pasta y papel.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<p>La cogeneración ahorra energía primaria y contribuye a mejorar la eficiencia energética, al ser la forma térmica más eficiente de generar electricidad y calor.</p> <p>Disminuyen las emisiones como resultado del incremento de eficiencia energética, reduciendo además el consumo de combustible. Un aspecto a considerar en la producción de energía es el derivado de los gases de efecto invernadero. La utilización de procesos más eficaces, como el presente, reduce la emisión de dióxido de carbono por unidad de energía producida o por unidad de producto.</p>
Descripción	<p>La cogeneración consiste en la producción en un mismo proceso de electricidad y calor. El calor residual que se produce en la generación eléctrica se aprovecha al emplearlo en un proceso industrial que lo consume como energía térmica útil en forma de vapor.</p> <p>Al tratarse de una producción de electricidad descentralizada, cercana a los centros de consumo, evita pérdidas e inversiones en las redes de transporte y distribución de electricidad, mejorando la calidad del sistema.</p> <p>Las plantas de cogeneración del sector, en función de la tipología de planta, pueden contener diferentes combinaciones, todas ellas ligadas a la producción conjunta de electricidad y vapor: turbinas de gas en ciclo simple con calderas de recuperación de calor, ciclos combinados con turbinas de gas y vapor, motores de combustión interna con recuperación de calor, etc.</p>
Procedimiento	<p>Se describe a continuación un ejemplo de la cogeneración más moderna y eficiente, ciclo combinado gas/vapor: como en las tecnologías convencionales de turbina de gas, el aire es comprimido previamente a su entrada a la cámara de combustión, donde el combustible y el aire se mezclan y tiene lugar la combustión. Tras la combustión, el gas combustible se expande en la turbina de gas, produciéndose una energía mecánica que es transformada en energía eléctrica mediante un generador. En este tipo de plantas, la energía térmica residual que contienen los gases de salida de la turbina de gas se aprovecha para generar vapor en una caldera de recuperación de vapor, el cual es usado para generar energía eléctrica adicional mediante una turbina de vapor.</p> <p>A su vez, esta turbina de vapor puede operar a condensación, de manera que el vapor de la turbina pasa a un condensador, por el que se elimina el calor latente residual, o a contrapresión, empleando este vapor en usos térmicos, con lo que se recuperara este calor.</p> <p>La utilización de vapores de más baja presión, por recompresión mecánica o termodinámica, constituye una técnica de ahorro energético que ha de ser considerada en la optimización energética de toda la fábrica, ya que permite operaciones como secado de lodos, o residuos, no realizables económicamente sin el empleo de calores residuales.</p>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	Esta técnica integrada de proceso es una técnica muy conocida y desarrollada. Puede llevarse a cabo tanto en plantas nuevas como en existentes.
Aspectos económicos	<p>El coste específico para la transformación en plantas en ciclo combinado se encuentra alrededor de los 1.000 euros/kW.</p> <p>Los beneficios económicos están asociados al coste del combustible y al precio de la energía eléctrica, exportada a la red, y se considera, en general, una situación rentable.</p>

Alternativa de Producción Limpia (PL)	6.2.15. Optimización del desgote en la sección de prensado de la máquina de papel
Proceso	Proceso: Fabricación de papel. Actuación: Cambios tecnológicos.
Etapa / Operación	Máquina de papel.
Problemática medioambiental	Aumento de la humedad con el consecuente requerimiento de mayor consumo de energía para la sección de secado.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Ahorros de energía calorífica necesaria para conseguir secar el papel. Con esta técnica se consigue un ahorro del 20 al 30% de la energía necesaria para el secado del papel.
Descripción	<p>A partir de la caja de alimentación, la máquina de papel es un sistema de desgote donde la retención y el drenaje deben de ser optimizados a lo largo de las distintas etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sección de formación y desgote, primero por gravedad y luego por vacío, hasta un 20% en sólidos. • Sección de prensado para aumentar el desgote hasta un 40-50% en sólidos. • Sección de secado para alcanzar la sequedad final del papel 94-97% por evaporación. <p>Cuanto más se avance en la máquina de papel más caro es eliminar el agua. Asimismo, si se produce un desgote muy rápido en la primera etapa, se produce el sellado de la hoja y se elimina menos agua en la sección de prensado. Por tanto, la curva de drenaje a lo largo del perfil de la máquina debe ser cuidadosamente optimizada, permitiendo un desgote gradual.</p> <p>En una máquina de papel, el mayor consumo energético se requiere para secar el papel (vapor 572 kWh/t). La energía eléctrica es necesaria para impulsar los rodillos y los cilindros conductores (100 kWh/t eléctricos) y para crear el vacío (67 kWh/t eléctricos).</p> <p>Cuanta más alta es la sequedad de la banda de papel tras la sección de prensado, más baja es la energía térmica requerida en la sección de secado final. Con un 1% de aumento de la sequedad de la banda de papel que entra en el secador, se ahorra aproximadamente un 4% de energía (en términos de vapor de baja presión, aproximadamente a 2 atm). Por lo tanto, es importante adoptar todas las medidas para alcanzar la mayor sequedad posible a la salida de la sección de prensado.</p> <p>Cuando se alcanza la presión límite en una prensa de rodillo tradicional ésta se puede sustituir por una prensa de zapata que alcanza mayores pulsos de presión, favoreciendo el desgote.</p> <p>Al aumentar la velocidad de desgote se puede aumentar la velocidad de la máquina y, por tanto, la productividad de las misma.</p>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	<p>Se puede llegar a aumentar un 3-15% la sequedad tras la instalación de nueva prensas de zapata en máquinas de papel de embalaje y cartón. Este aumento depende del funcionamiento de la sección reconstruida de prensado y del nuevo concepto de prensas seleccionado.</p> <p>Técnica integrada en el proceso. Se puede adaptar tanto a máquinas de papel nuevas como existentes, para la mayoría de tipos de papel (excepto tisú), con los únicos requerimientos de suficiente espacio libre en la sección de prensado y que la estructura de la fábrica resista su peso. Son convenientes buenas cimentaciones para soportar el peso de la maquinaria.</p>
Aspectos económicos	<p>Los costes de inversión, para una máquina de papel de 5 m de ancho, son cerca de 10 Meuros. Estos costes incluyen los fieltros, los nuevos rodillos y la instalación.</p> <p>La energía consumida por la nueva prensa es aproximadamente igual a los costes de una prensa convencional. Los ahorros del vapor para la sequedad de papel oscilan entre 10 y 15 euros/t de vapor, resultando un consumo específico de vapor de 2 toneladas de vapor por tonelada de papel y ahorros de entre 20 y 30 euros/t de papel.</p> <p>En sustituciones de prensas, el período de amortización de la inversión es aproximadamente de 2,5 años, si no existen otros aspectos que limiten el aumento de la velocidad de la máquina, que puede de ser de hasta el 30%.</p>

6.3. OTRAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS A CONSIDERAR

6.3.1. Descortezado en seco

Definición

El descortezado en seco es una alternativa al descortezado en húmedo que reduce el consumo de agua en más de un 80%. En este proceso tan sólo se utiliza el agua para eliminar el hielo de los troncos, en climas fríos, la cual se recircula en el propio proceso. Asimismo, el descortezado en seco produce cortezas con un menor contenido en humedad y, por tanto, con un mayor poder calorífico cuando se emplean en las calderas auxiliares, hecho que favorece el balance energético de la fábrica aunque el consumo de energía durante el descortezado en seco pueda aumentar. Para favorecer el descortezado las maderas utilizadas deben de ser frescas.

Aplicabilidad

Esta técnica supone un cambio tecnológico y puede ser aplicada tanto en fábricas nuevas como en existentes. El descortezado en seco es muy utilizado y está dejando atrás las técnicas de descortezado en húmedo.

Aspectos medioambientales

Con un descortezado en seco se reduce el consumo de agua y se disminuye la carga de materia orgánica, sólidos y materias colorantes del efluente. Asimismo, disminuye el contenido de compuestos orgánicos disueltos en las aguas tales como ácidos resínicos, ácidos grasos y otros extractivos, lo que reduce la toxicidad de las mismas.

Tabla 6.3.1. Carga contaminante en los efluentes de distintos procesos de descortezado, previamente al tratamiento biológico

Técnica de descortezado	Volumen del efluente (m ³ /t pasta)	DBO ₅ (kg/t pasta)	DQO (kg/t pasta)	P-total (g/t pasta)
Descortezado en húmedo y prensa de cortezas	3-10	5-15	20-30	25-35
Descortezado en seco y prensa de cortezas	0,5-2,5	0,5-2,5	1-10	10-20

Fuente: BREF

Aspectos económicos

El coste de las descortezadoras en seco no difiere significativamente de las descortezadoras húmedas. El coste típico de inversión en una descortezadora en seco nueva se encuentra alrededor de los 15 Meuros para una capacidad de 1.500 t/d de pasta. La conversión de una planta de descortezado húmedo a una en seco tiene un coste aproximado de 4-6 Meuros. Este coste sólo incluye el equipo y la instalación.

Los costes de operación varían de 0,25-0,35 Meuros/a.

6.3.2. Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua

Definición

Esta medida es de carácter general y se puede utilizar en cualquier planta de fabricación de pasta y de papel, normalmente se complementa con la medida 6.3.3. Por tanto, contribuye a disminuir el volumen de aguas residuales de la planta, la carga contaminante de las mismas y los efectos negativos que producen descargas puntuales altamente contaminadas sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas. Los tanques de almacenamiento deben permitir evitar derrames durante el arranque y parada de la planta o cuando se produzca alguna alteración del proceso. En general la capacidad debe ser adecuada para almacenar las corrientes producidas durante varias horas si falla alguna etapa del proceso. Las corrientes limpias deben desviarse del área donde potencialmente se pueden producir fugas para evitar la contaminación o dilución de dichas corrientes.

Aplicabilidad

La optimización de la capacidad necesaria de los tanques de almacenamiento de aguas de proceso es una buena práctica ambiental aplicable para plantas existentes y nuevas. Estas medidas ayudan no sólo a conservar los productos químicos valiosos del proceso y a mejorar la economía de proceso, sino que afectan considerablemente el funcionamiento ambiental de la fábrica. En instalaciones existentes la alternativa más eficaz es aplicar esta alternativa de forma conjunta con las medidas para evitar derrames y fugas, compatibilizando los tanques de almacenamiento con el sistema de recogida de derrames. Asimismo se debe buscar la complementariedad con otras mejoras que permitan mejorar la rentabilidad. Por ejemplo, en el caso de plantas de pasta química se pueden complementar con mejoras del lavado y tamizado de la pasta o del proceso de evaporación y filtrado de las lejías.

En el caso de plantas de fabricación de pastas químicas es importante prevenir derrames de lejías, fuertes y débiles, de condensados y de lejía verde para esto se debe tener una capacidad de almacenamiento que exceda al menos en un 30% el volumen de operación normal. El volumen de los tanques está determinado por la concentración de las lejías. La capacidad de almacenamiento en plantas antiguas, en plantas con poca eficacia en el lavado o sin una etapa de concentración de lejías negras antes de la evaporación es mucho mayor que en plantas modernas porque las lejías están más diluidas (8 y 60% para lejías débiles y fuertes respectivamente frente al 16 y 75% de plantas modernas).

En el proceso de producción de pasta CTMP para mercado existe una menor necesidad de almacenamiento de aguas de proceso que en una planta de pasta química, puesto que una vez minimizado el consumo de agua, el balance de agua muestra que existe un exceso de agua que tiene que ser tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales. Por tanto, en este caso basta con un tanque de almacenamiento de aguas de proceso que permita asegurar el agua necesaria para toda la planta cuando la fábrica funciona de forma inestable o alguna de las etapas está parada.

En fábricas de pastas mecánicas y termo-mecánicas integradas la mayor parte del agua utilizada en el proceso de fabricación de la pasta se recibe como excedente de agua blanca de la máquina de papel o cartón. Por lo que la solución es un tanque de almacenamiento de aguas blancas de la capacidad adecuada. En algunas ocasiones los tanques de almacenamiento se emplean también para enfriar las aguas de proceso.

En las fábricas de papel y cartón es necesario tener tanques de almacenamiento de aguas blancas que permitan su almacenamiento durante paradas cortas, puestas en marcha y funcionamiento irregular de la planta. Asimismo, es necesario disponer de tanques de rotos y, en el caso de papeles estucados, de un tanque adicional para almacenamiento de rotos de estucado.

Aspectos ambientales

Esta medida del control de la contaminación está relacionada con la contención y reutilización de las fugas y escapes. Las mejoras ambientales del proceso requieren una combinación de ambas técnicas. Estas medidas reducen el caudal de aguas residuales producido en las plantas así como su carga contaminante. Además disminuyen los riesgos de alterar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales al evitarse descargas accidentales con altas cargas orgánicas, a veces tóxicas, o con valores de pH extremos.

En el caso particular de las pastas mecánicas, las consecuencias para el medio ambiente son más bajas que las químicas, pero el tratamiento de aguas residuales mejora con la disminución de la frecuencia de derrames o fugas.

De forma adicional hay que considerar las ventajas de seguridad que representa el control de derrames en las plantas.

Aspectos económicos

Para una planta de 1.000 t de pasta/d se considera necesario al menos dos tanques de almacenamiento de 2.000 m³. Los costes aproximados de inversión para cada tanque junto con el equipo auxiliar necesario se estima en 0,5-0,8 Meuros.

En el caso de una fábrica de papel con una producción de 1.000 t/d, se consideran necesarios 2 o 3 tanques de almacenamiento en función de si el papel es estucado o no. Para las aguas blancas se considera necesario un tanque de 3.000 m³ (0,6-0,7 Meuros) y para los rotos sin estucar o estucados un tanque en cada caso de 2.000 m³ (0,4-0,5 Meuros).

El coste de operación es muy bajo y corresponde fundamentalmente al coste de mantenimiento.

6.3.3. Control y recuperación de fugas y escapes

Definición

En todas las plantas interesa introducir medidas para reducir la cantidad de aguas residuales generadas así como su carga contaminante. Con esta medida se consigue reducir el tamaño de la planta de tratamiento de aguas residuales, el coste de tratamiento y el caudal final de vertido. Además es importante evitar descargas puntuales contaminantes, especialmente si son tóxicas, para evitar el mal funcionamiento de la estación depuradora.

Los derrames y vertidos internos accidentales son relativamente frecuentes dentro de los procesos de fabricación de pasta y papel. Los puntos de vertido interno más frecuentes son: cierres de bombas, válvulas, lavadores, depuradores y equipos mecánicos en general, reboses de tanques, averías mecánicas y errores de operación, además de reboses durante operaciones de mantenimiento, puesta en marcha y parada de la fábrica.

Los derrames con un contenido en sólidos superior al 2-3% deben ser contenidos, recogidos (evitando su dilución), almacenados y reutilizados en las etapas adecuadas del proceso. Por lo tanto, es importante que en las plantas se consideren los siguientes:

- Recogida de reboses y vertidos internos con la más alta concentración de sólidos disueltos posible.
- Tanques de almacenamiento de filtrados y aguas suficientemente grandes.
- Retorno al proceso de lejías y fibras procedentes de reboses.
- Control de pH, conductividad, turbidez, etc., en puntos estratégicos, que permitan una rápida detección de fugas o derrames. Sistema de alarma.

- Contención y control de áreas críticas del proceso, para evitar altas concentraciones o vertidos peligrosos al efluente general de fábrica, por ejemplo lejías negras y lejías residuales, condensados producidos en los evaporadores, etc.

Aplicabilidad

El control y recuperación de fugas y escapes se considera una Buena Práctica Ambiental la cual implica un diseño adecuado de planta. El control de recogida, almacenamiento, tratamiento o reutilización de vertidos y reboses internos es más fácil de aplicar en fábricas de nuevo diseño que en las de diseño antiguo. En las plantas existentes la clave para una solución eficiente reside principalmente en el propio equipo, instalando medidas adecuadas para la contención de derrames y fugas.

Esta medida aunque es de aplicación a cualquier proceso, es más importante para aquellos procesos donde los derrames tengan una mayor carga contaminante, como es el caso de las plantas de pasta química. En éste caso es necesario prever con este fin un exceso de la capacidad de la planta de evaporación de aproximadamente un 10%.

Aspectos ambientales

Esta medida esta relacionada con la utilización de tanques de almacenamiento de capacidad suficiente para una óptima gestión del agua (medida 6.3.2). La mejora ambiental se basa en la combinación de ambas técnicas.

En plantas kraft se estima que una buena gestión del proceso y un sistema de contención y recuperación de derrames correctamente diseñados, junto con un aumento del 5-10% de la capacidad de evaporación de la planta, consiguen una reducción de 3-8 kg DQO/t en la corriente final de aguas residuales.

El riesgo de alteraciones en la planta de tratamiento de aguas residuales de la planta se reduce cuando se evitan las descargas accidentales de elevada carga orgánica, de contaminantes tóxicos y/o con pH extremos.

Aspectos económicos

Las medidas de control y reutilización de derrames y fugas, así como el control del proceso en el sector son beneficiosas y necesarias desde el punto de vista económico y ambiental. Esta cuestión se ha solucionado eficientemente en muchas plantas con métodos bastante simples. Sin embargo en algunas plantas existen limitaciones a la hora de evitar derrames que radican en los cuellos de botella existentes en algunas etapas del proceso (lavado de la pasta, tamizado, evaporación, etc.)

El coste de inversión para un sistema de tratamiento de fugas y derrames en una planta kraft con una producción de 1.500 t/d de pasta es de 0,8-1,5 MEuro. Si la capacidad de evaporación de la planta necesita ampliarse con 0,8 m³/t se requieren entre 4 y 6 MEuro adicionales. Los costes de operación de los sistemas están estimados entre 0,1 y 0,4 Meuros/a, pero puede variar considerablemente entre plantas antiguas o de nueva construcción.

En el caso de fábricas de papel con una capacidad de 1.000 t/d la aplicación de esta medida requeriría la instalación de un nuevo tanque de 3.000 m³ para el almacenamiento de aguas blancas y un tanque de 2.000 m³ para el almacenamiento de rotos sin estucar, lo que supone un coste de 1,0-1,2 Meuros. Si se necesita un tanque adicional para los rotos de estucado habría que sumar 0,4-0,5 Meuros al coste anterior.

6.3.4. Tamizado de la pasta cruda en circuito cerrado de agua

Definición

Operar con el sistema de agua totalmente cerrado en el proceso de tamizado de la pasta cruda, evita generar una mayor cantidad de aguas residuales. Esta alternativa contribuye a la reducción del efluente final de la planta y de su carga contaminante. Los haces de fibras y nudos separados en esta etapa son recuperados e incinerados en la caldera de recuperación.

Aplicabilidad

Esta técnica de prevención en origen es muy utilizada tanto en fábricas nuevas como en las ya existentes. El cierre del circuito de aguas en la operación de lavado y tamizado puede requerir de equipos suplementarios o de la sustitución de algunas unidades para minimizar el consumo de agua de los lavadores y para que los equipos sean más resistentes a la corrosión. Si la capacidad de los evaporadores y de la caldera de recuperación está en el límite, se tendrían que considerar alternativas complementarias para aumentar dicha capacidad y poder tratar las aguas con los residuos de la etapa de tamizado.

Aspectos medioambientales

El sistema cerrado contribuye significativamente a la reducción de compuestos orgánicos en los efluentes residuales, los cuales son recuperados e incinerados en la caldera de recuperación por lo que se reduce el efluente de aguas residuales de la planta de pastas.

El consumo de energía aumenta debido al incremento en la necesidad de evaporación.

Aspectos económicos

La inversión que supone este tipo de plantas de cribado es de 4-6 Meuros en las fábricas nuevas y 6-8 Meuros en las ya existentes. Los costes de operación son de 0,3-0,5 Meuros/a para una capacidad de 1.500 t/d de pasta.

El desarrollo actual de procesos de tamizado, que permiten trabajar a consistencias mayores que las utilizadas tradicionalmente, permiten reducir los costes de inversión y el consumo de energía eléctrica, por lo que su uso se ha extendido considerablemente.

6.3.5. Lavado eficiente

Definición

El objetivo del lavado de pasta química cruda es separar las fibras de celulosa de los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en agua, formando la lejía residual de cocción. Del grado de eficiencia de la etapa de lavado dependerá el mayor o menor arrastre de productos químicos residuales a las siguientes etapas. Dichos productos residuales aumentan el consumo de agentes de blanqueo, incrementan el caudal de aguas residuales de blanqueo y su carga contaminante. Cuanto mayor sea la consistencia de la pasta a la salida de la etapa de lavado menor será el arrastre de productos químicos residuales y de contaminantes.

Dentro del conjunto de las pastas mecánicas, esta técnica es especialmente relevante para las pastas químico-térmico-mecánicas (CTMP). El propósito principal es separar el material orgánico disuelto durante la disgregación de la madera, en este caso no se requiere una eficacia de lavado tan alta como en las pastas químicas.

Para lavar la pasta se utilizan una combinación de etapas sucesivas de dilución y espesamiento de la pasta. Los equipos utilizados son filtros de tambor a vacío, filtros de tambor presurizados, lavadores planos tipo fourdrinier, difusores atmosféricos y a presión, y prensas de lavado.

El lavado de pastas CTMP es más difícil que el de pastas químicas por lo que se requiere una mayor capacidad de los equipos de lavado. Con un sistema tradicional de lavado se puede recuperar un 65-70% del material orgánico mientras que con un sistema de lavado mejorado es posible alcanzar eficiencias del 75-80% instalando nuevos equipos en serie.

Un sistema cerrado de lavado aumenta la importancia del control de los derrames y fugas accidentales, que es otra alternativa para el control de la contaminación. En este caso los derrames contienen una alta carga de sustancias orgánicas e inorgánicas que aumentarían la carga contaminante de las aguas residuales finales.

Aplicabilidad

Para la implantación de esta medida es necesario un cambio tecnológico o ampliación de algunas unidades de planta. No obstante, esta técnica se puede aplicar tanto en plantas antiguas como de nueva construcción. Esta alternativa se aplica mucho en plantas kraft pero no tanto en plantas CTMP porque no es tan importante alcanzar una elevada eficacia en el lavado de la pasta.

En plantas kraft, en la práctica, en vez de llevar a cabo modificaciones del proceso de lavado puede compensar una sustitución total de los equipos de lavado.

Aspectos ambientales

Un sistema óptimo de lavado en las plantas kraft permite separar las aguas de lavado, que son tratadas en el sistema de recuperación, y reduce el arrastre de contaminantes con la pasta que disminuye el consumo de productos químicos en etapas posteriores e incluso aumenta la calidad de la pasta si ésta arrastra menos extractivos. Las instalaciones modernas de lavado permiten alcanzar valores de 2-4 kg DQO/t a la salida de la planta de lavado, cuando la mayoría de las instalaciones producen pastas con una DQO de 5-8 kg DQO/t.

Las prensas de lavado presentan ventajas cuando se aplican en la etapa previa al blanqueo puesto que permite aumentar la consistencia de la pasta de un 10-15% alcanzada en los lavadores convencionales hasta un 30-35%, lo que permite reciclar una mayor cantidad de filtrados de lavado con la consiguiente disminución del caudal de aguas residuales de la planta de blanqueo y de su carga contaminante: DQO, DBO₅, AOX, etc.

Aspectos económicos

Referente a pastas químicas, los costes de inversión son típicamente 4-6 Meuros en las plantas nuevas y aproximadamente 2-4 Meuros para las existentes. El coste de inversión típico para una planta de pasta CTMP con una producción de 700 t/d es de 3-5 Meuros en fábricas nuevas y 2-3 Meuros en las ya existentes.

No existen costes de operación relevantes.

6.3.6. Cocción modificada extendida

Definición

Desde el punto de vista medioambiental, un punto clave en el proceso de obtención de pasta es el grado de deslignificación alcanzado antes de la etapa de blanqueo. Cuanto menor sea el contenido en lignina de la pasta (menor índice kappa) menor será el consumo de agentes de blanqueo y menor será la carga contaminante de los efluentes de la etapa de blanqueo.

La deslignificación se lleva a cabo en los digestores y, de forma opcional, en una etapa de deslignificación con oxígeno (medida 6.2.2). La lignina en este último caso, se elimina de forma selectiva para minimizar el ataque a las fibras de celulosa y para evitar pérdidas del rendimiento del proceso. La alternativa de una cocción modificada extendida continua o discontinua permite una mayor eliminación de lignina durante la cocción (35-45% más que el proceso tradicional), obteniéndose pastas con un 3% de lignina residual (con un número kappa de 20) frente al 5-10% de los procesos convencionales (con un número kappa de 30). Por tanto, se obtienen pastas crudas más fáciles de blanquear a la vez que se aumenta el contenido en sustancias orgánicas de las lejías que se envían a la caldera de recuperación.

Cocción continua

Existen tres alternativas respecto a los sistemas de cocción continuos: cocción continua modificada (MCC), cocción continua modificada extendida (EMCC) y cocción isotérmica (ITC). En el proceso MCC, la zona de cocción del digestor está dividida en dos zonas, una zona de corriente en línea y otra en contracorriente. La alimentación de lejía blanca se divide entre las dos zonas. El propósito de la modificación es reducir la concentración inicial de álcali y mantener una concentración homogénea de álcali durante el proceso de cocción, así como mantener una baja concentración de lignina disuelta en la parte final del proceso. El proceso EMCC es una modificación del anterior cuya diferencia radica en que la lejía blanca se añade también en la zona de lavado, con el fin de extender el proceso de deslignificación del digestor.

Otra mejora de la cocción MCC es la cocción isotérmica. En la ITC todo el digestor se usa para la deslignificación, lo que supone condiciones más suaves durante la cocción (menores temperaturas) y, por tanto, se mantienen las características de resistencia de la pasta.

Cocción discontinua

Existen también tres alternativas para el proceso discontinuo: desplazamiento rápido de calor (Rapid Displacement Heating), "Superbatch" y "Energbatch". En los dos primeros casos se llevan a cabo un pretratamiento de impregnación con lejía blanca, para disminuir el consumo de energía y al mismo tiempo incrementar la concentración inicial de sulfuro y disminuir la carga efectiva de álcali. En el proceso "Energbatch" se realiza un pretratamiento con lejía blanca seguido de un pretratamiento con lejía negra. Todos estos procesos proporcionan un menor consumo de energía y una mejora de la calidad de la pasta disminuyendo el índice kappa hasta un 35% en pastas de maderas blandas y un 20% en pastas de maderas duras.

Aplicabilidad

Consiste en una técnica de proceso integrada, que se puede adoptar en nuevas fábricas de pasta y con una cierta limitación en las fábricas existentes, puesto que su implantación requiere un cambio o ampliación tecnológica de la planta.

En digestores en continuo o si la caldera de recuperación trabaja al máximo de su capacidad, se pueden presentar pérdidas de producción del 4-8%. En este último caso se tendrían que adoptar medidas complementarias que permitan aumentar la cantidad de lejías quemadas en la caldera (etapas adicionales de evaporación, uso de antraquinona en el proceso de cocción, etc).

Se puede llegar a reducir el índice kappa en 6-7 unidades cuando se utilizan maderas blandas como materia prima y en 4-5 unidades para maderas duras, sin afectar a la resistencia de las fibras. En digestores continuos se pueden obtener pasta con un índice kappa de 20-24 para maderas blandas y de 14-18 para maderas duras. Con digestores discontinuos los valores del índice kappa se reducen a 15-16 si se utilizan maderas blandas y a 12 para el caso de maderas duras.

Principales aspectos medioambientales

Los efectos que se obtienen con la deslignificación extendida son:

- Aumento de la cantidad de sustancias orgánicas disueltas en las lejías que se envían a la caldera de recuperación.
- Aumento de la energía producida en la caldera de recuperación.
- Reducción en el consumo de productos químicos de blanqueo, lo que supone un importante ahorro económico.
- Reducción de la descarga de agentes contaminantes (AOX, DQO) de la planta de blanqueo (2-3 kg DQO/t de pasta por cada unidad del índice Kappa).
- En los procesos de cocción discontinuos disminuye el consumo de energía y de vapor de la cocción pero aumenta el consumo de vapor en la evaporación de las lejías negras.

Aspectos económicos

La inversión de costes que suponen la modificación de una planta de cocción convencional hacia una de cocción extendida es de 4-5 Meuros en una fábrica que produce 1.500 t/d de pasta.

6.3.7. Blanqueo con ozono

Definición

El blanqueo con ozono está relacionado con la producción de pasta ECF y TCF. El principal objetivo del uso de ozono es proporcionar una mayor capacidad de deslignificación de la pasta. El ozono favorece la acción del peróxido de oxígeno, lo que resulta en una mayor blancura y un menor consumo de peróxido.

Aplicabilidad

Técnica integrada en el proceso que puede ser adoptada tanto en fábricas nuevas como en existentes, implica una sustitución de materias primas, y un cambio tecnológico.

Aspectos medioambientales

Si el ozono se utiliza para sustituir al dióxido de cloro en los procesos ECF, se reduce en gran medida el vertido de AOX. En los procesos TCF el uso de ozono permite alcanzar pastas de alta blancura y facilita el cierre de circuitos en la etapa de blanqueo.

Experiencias operacionales

El blanqueo con ozono con una planta de blanqueo ECF normalmente resulta en una pasta con las mismas propiedades.

Aspectos económicos

El blanqueo con ozono presenta unos costes de inversión elevados debido a los altos costes de los generadores de ozono y de los equipos auxiliares. Los costes de inversión para una producción de 1.500 t/d de pasta son de 12-15 Meuros. Los costes de operación son de 1,8-2,1 Meuros/a, aproximadamente.

6.3.8. Cierre de los circuitos de agua con tratamiento biológico de los efluentes integrado en el proceso

Definición

Actualmente esta técnica sólo se considera una APOC en las plantas de papel sin blanquear a partir de papel recuperado, aunque el principio básico, de depurar con métodos físicos y químicos una parte del agua de proceso para su reutilización puede ser utilizado en otros tipos de fábricas de pasta y papel.

Esta medida considera el tradicional tratamiento biológico de las aguas residuales al final de la línea como un tratamiento interno de las mismas que permite su recirculación. De esta forma se pueden cerrar los circuitos de agua evitando los problemas de acumulación de materia orgánica disuelta y coloidal que dicho cierre conlleva. Así se evitan problemas de corrosión y de olores tanto en el producto como en los alrededores de la máquina de papel. La principal ventaja del tratamiento integrado en el proceso es que sólo se necesita eliminar una parte de la carga total de DQO para conseguir mantener un nivel determinado en el agua de los circuitos (7.000-8.000 mg/L equivalen a plantas con un consumo de agua de 3-4 m³/t). Esto hace que la integración de la planta de depuración de aguas en el proceso sea económicamente atractivo. Actualmente existen diversas opciones técnicas que lo permiten, dos de ellas se describen a continuación:

Opción 1: Tratamiento anaerobio seguido de una etapa con re-aireación y descarbonatación.

Después de una etapa previa para la eliminación de fibras de las aguas de proceso, una parte de la corriente se depura mediante un tratamiento anaerobio en un reactor de lecho fluidizado seguido de una etapa de re-aireación, para provocar el paso de sulfuros a sulfatos, y de una etapa de descarbonatación, para evitar las incrustaciones de carbonato cálcico en el reactor u otras partes del circuito. Una vez depurada la corriente se reutiliza en el proceso.

Opción 2: Tratamiento anaerobio combinado con un tratamiento de fangos activos y un filtro de arena.

Después de una etapa de enfriamiento de parte de las aguas de proceso desde 55 °C a 35 °C, éstas se acondicionan en un tanque de homogeneización y pre-acidificación donde se adicionan los nutrientes necesarios. A continuación las aguas pasan al reactor UASB donde se produce el tratamiento anaerobio y de éste las aguas pasan al tratamiento aerobio en dos tanques con aireación paralelos. Después de la sedimentación el agua clarificada se envía a los filtros de arena para reducir la concentración de sólidos. El biogas producido en el reactor anaerobio se envía a un scrubber, para eliminar el H₂S, y poder ser utilizado posteriormente en la generación de vapor.

Aplicabilidad

Es una técnica de reciclaje en origen que implica cambios tecnológicos. El cierre de circuitos de agua mediante la integración del tratamiento biológico de las aguas de proceso se puede aplicar, teóricamente, en fábricas de papel nuevas y existentes. Sin embargo, existen varias razones por las que esta técnica no se considera generalmente como una Alternativa de Producción Limpia. El motivo principal es la precipitación del carbonato de calcio en el circuito de agua así como en los reactores de tratamiento anaerobio y aerobio. El control de la concentración del calcio en el agua blanca es muy complejo y no se conoce suficientemente. Las soluciones técnicas para este problema todavía no están desarrolladas.

Para integrar esta técnica en un proceso ya existente se tendría que optimizar todo el sistema de aguas por lo que no se considera económicamente viable.

Aspectos medioambientales

El circuito cerrado de agua con tratamiento integrado consigue reducir prácticamente a cero los vertidos líquidos.

6.3.9. Reducción de las pérdidas de fibra y cargas minerales en la máquina de papel

Definición

Esta técnica se aplica a cualquier tipo de papel, excepto el papel tisú, puesto que para el tisú, la recuperación de cargas y finos no tiene importancia puesto que no puede ser reutilizado en el proceso.

La gestión de la recuperación de fibras en el proceso de fabricación de papel es un asunto de gran importancia para la optimización del costo.

Cuando la pasta fluye a través de la caja de alimentación sobre la tela de formación, la fracción no retenida de cargas y finos pasa a formar parte de las aguas blancas. El circuito corto de agua se recircula sin tratamiento previo. El resto de las aguas se llevan hacia los recuperadores de fibras, normalmente filtros de discos, o hacia una flotación con aire disuelto, para separar los sólidos de la corriente de agua. Estos sólidos son posteriormente recogidos en una tina y reciclados hacia la máquina de papel. Las aguas clarificadas son normalmente recogidas y recirculadas a distintos usos en la máquina de papel: dilución de la pasta en la máquina de preparación de pasta, rociadores de agua, etc. En las fábricas integradas el exceso de aguas blancas se usa en el proceso de pulpeo.

Para la recuperación de cargas y finos los sistemas más eficientes son los basados en filtros de disco por vacío o en células de flotación. Se pueden conseguir aguas filtradas con un contenido de sólidos en suspensión de 10-20 mg/l frente a los más de 50 mg/l de los filtros convencionales, y además se posibilita la reutilización de las aguas filtradas en diferentes etapas de fabricación.

Otros métodos para evitar las pérdidas de fibras y cargas son:

- La optimización de la depuración y del refinado en la cabeza de la máquina.
- El correcto dimensionamiento y operación del sistema de rotos.
- La adecuada adición de aditivos químicos y un buen sistema de control para optimizar la retención de finos y cargas.
- Control eficaz de la caja de alimentación para producir una distribución homogénea de pasta sobre la tela de formación.

Aplicabilidad

Estas técnicas pueden aplicarse tanto en fábricas existentes como en nuevas.

Aspectos medioambientales

La pérdida de sólidos totales generada en la máquina de papel, así como rechazos en la preparación de pasta, exceso de aguas blancas llevadas a la planta de depuración, en la sección de prensado, por derrames y fugas de tanques de pasta, etc., se encuentra alrededor de los 10-100 kg/t.

Aspectos económicos

Los filtros de disco por vacío suponen una mayor inversión, pero comportan costes inferiores de funcionamiento por menor consumo energético y ausencia de los aditivos que pueden ser necesarios para la flotación; sin embargo, estos sistemas son más efectivos recuperando cargas.

Para una producción de 100 t/d de papel la inversión para un sistema de filtración puede alcanzar 240.000-270.000 euros frente a 198.000-228.000 euros para el de flotación.

6.3.10. Recuperación y reciclaje de los productos de estucado contenidos en los efluentes

Las tecnologías de membranas suelen escogerse puesto que ofrecen posibilidades de reutilización de los compuestos químicos de estucado, aunque necesitan un cambio o ampliación de la tecnología de la planta.

Definición

Las fábricas que producen papel estucado generan un caudal de aguas residuales en la sección de estucado del 2-5% del flujo total, no obstante éstas tienen un alto contenido en pigmentos y adhesivos.

La adecuada gestión de los residuos de estucado conlleva:

- Descarga mínima de la sección de preparado de los colores de estucado mediante una producción eficiente y un inventario óptimo.
- Diseño óptimo del sistema de suministro de la preparación de colores para estucado.
- Recuperación de los compuestos químicos de estucado mediante ultrafiltración del agua residual del sistema de estucado.

La ultrafiltración consiste en un método de separación del agua y de los compuestos químicos mediante el uso de una membrana semipermeable. Los poros de la membrana son tan pequeños que sólo permiten el paso de minúsculas moléculas como agua, iones metálicos, sales y monómeros de almidones, mientras que otros compuestos como los compuestos químicos de estucado (pigmentos y aglutinantes) quedan retenidos.

Aplicabilidad

Esta técnica de reciclaje en origen puede ser aplicada tanto en fábricas existentes como en nuevas.

Aspectos medioambientales

Se reducen las emisiones al agua y la cantidad de residuos. También se produce una disminución del consumo de agua puesto que el permeado puede ser reutilizado.

Experiencias operacionales

La aplicación de la ultrafiltración ha aplicado con éxito en muchas fábricas. Se debe tener en cuenta la vida útil de la membrana, que no excede a un año.

Aspectos económicos

Una unidad de UF pequeña puede tratar alrededor de 2.000 l/h de efluente con un 2% en sólidos. Este tipo de unidad puede ser útil para fábricas que utilizan de 10 a 50 toneladas por día de compuestos químicos para estucado. Los costes de inversión en este caso son de 0,2-0,3 Meuros. Se pueden obtener ahorros mediante el reciclado de los compuestos químicos de estucado (costes de disposición en vertederos controlados, y ahorros de los compuestos químicos de estucado, que suelen ser muy caros).

6.3.11. Pretratamiento independiente de las aguas residuales de las operaciones de estucado

Definición

Esta técnica puede ser aplicada alternativamente a la técnica descrita en el punto 6.3.4. Las tecnologías de membranas suelen escogerse puesto que ofrecen posibilidades de reutilización de los compuestos químicos de estucado.

El vertido de compuestos químicos puede dividirse en dos grupos:

- Excedentes no diluidos (sobre el 50-70% en sólidos secos) procedentes del sistema de preparación de estucado.
- Compuestos diluidos procedentes del agua de lavado.

En el tratamiento típico de estos vertidos se recogen las aguas residuales en un depósito de neutralización. Posteriormente son tamizadas y bombeadas hacia el sistema de tratamiento físico-químico; donde se usa sulfato de aluminio o policloruro de aluminio como coagulantes. También se añaden polielectrolitos como agentes floculantes. Los flóculos del agua residual fluyen en un clarificador, donde los sólidos sedimentan y se recogen por el fondo del clarificador; el rebose de agua limpia se descarga en un canal de agua residual para un tratamiento adicional. Los lodos recogidos del fondo se conducen a un tanque de lodos desde donde son bombeados a la etapa de deshidratación. Los lodos deshidratados a una concentración del 30-40% se transportan finalmente a un vertedero.

En algunos casos los lodos son deshidratados mediante centrifugación y, posteriormente, se reutilizan como agentes de estucado. No obstante, esta opción requiere un coste adicional de acondicionamiento.

Aplicabilidad

El pretratamiento de las aguas residuales de estucado puede ser aplicado tanto en fábricas existentes como en nuevas, aunque en las existentes se necesita un cambio o ampliación de la tecnología de la planta.

En instalaciones nuevas, probablemente es preferible un sistema de ultrafiltración de las aguas residuales, puesto que suelen tener un periodo más corto de amortización.

Aspectos medioambientales

El principal logro es la mejora en la operación de la fábrica y especialmente en la planta de tratamiento de aguas residuales.

6.3.12. Substitución de sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos contaminantes

La concentración de productos químicos en las aguas de proceso está directamente relacionada con la retención de dichos productos en el producto de papel. Si la retención es baja los productos químicos pasan a formar parte de las aguas blancas, convirtiéndose en contaminantes potenciales cuando las aguas son recirculadas. Estos compuestos también pueden estar presentes en los residuos sólidos de la planta y pueden afectar a la calidad de los mismos si se quieren reutilizar para compost o, si se llevan a vertedero, pueden movilizarse con las aguas de lixiviado.

La presencia de estos contaminantes en las aguas de vertido dependen de su retención inicial, de su degradabilidad y de la retención de los mismos en los lodos de la planta de tratamiento de aguas. Cuanta más alta es la retención, más baja es la descarga al efluente y más bajo es el efecto ambiental potencial de los aditivos aplicados. Utilizar productos que presenten una alta retención es

deseable tanto desde el punto de vista económico (menor pérdida de producto) como medioambiental. Los aditivos de producto están diseñados para mejorar la calidad del producto final y, por tanto, presentan en general una buena retención. Sin embargo, los aditivos de proceso, que contribuyen a mejorar las distintas etapas del proceso de producción, suelen presentar una menor retención, puesto que en muchos casos su efecto es sobre los propios circuitos de aguas, por lo que se acumulan en las aguas de proceso. Estos contaminantes en potencia, contribuyen al aumento de la materia disuelta y coloidal del circuito y pueden interaccionar entre ellos dando lugar a la formación de depósitos que afectan a la calidad del producto, a los equipos y a los procesos.

Esta técnica propone la reducción generalizada de la utilización de aditivos químicos, que pasan en gran proporción al efluente, y sustitución por otros más favorables para el medio ambiente. Esto es especialmente interesante para los productos químicos peligrosos, para los que existen substitutos menos contaminantes y que permiten obtener el mismo resultado en el proceso. Se debe potenciar la utilización de productos biodegradables, no tóxicos y no bioacumulables. Los productos químicos de los que se sospecha ejercen efectos nocivos sobre los seres humanos o sobre el ambiente se deben evitar, como por ejemplo hidrocarburos orgánicos como el benceno (carcinógeno), el tolueno (tóxico) y el xileno (tóxico) contenidos en los disolventes y detergentes utilizados para la limpieza de telas, fieltros y máquinas, etc., se deben sustituir por disolventes que tienen efectos menos tóxicos, como por ejemplo esteres que son parcialmente biodegradables.

Efectos medioambientales

El control de los aditivos en vertidos finales de la planta es importante para determinar cuales no son retenidos, o no son degradados y acaban en dichos efluentes. Estos serían La dosificación de estos compuestos se debe de minimizar y cuando sea posible se deben de sustituir por compuestos menos problemáticos desde el punto de vista medioambiental.

Se aconseja llevar a cabo un estudio detallado de los aditivos de proceso, por ejemplo un balance de retención y degradabilidad de los productos utilizados para seleccionar aquellos que deben ser sustituidos o se debe minimizar su uso.

6.3.13. Control de las emisiones del parque de madera

Esta técnica, considerada como una Buena Práctica Ambiental, es más relevante en la fabricación de pasta mecánica, puesto que la madera necesita mantenerse fresca porque el tiempo de almacenamiento de la madera y las condiciones de dicho almacenamiento causan cambios en la calidad de la madera que afectan a la solubilidad de sus componentes, lo cual puede tener un importante impacto medio ambiental. Dichos cambios se deben a la actividad de las bacterias y hongos, al secado de la madera y a una oxidación acelerada de la misma. En función de la especie maderera los cambios producidos son diferentes. En general se considera que los compuestos más volátiles se evaporan y que los triglicéridos se hidrolizan a ácidos grasos, lo cual es beneficioso pero también se produce la penetración de los extractivos solubles de la corteza en la madera. Estos cambios pueden llegar a disminuir la blancura posterior de las pastas.

En la actualidad existen dos tendencias con respecto a la gestión de las operaciones relativas a la madera:

- Acortar el tiempo transcurrido entre la corta de la madera y su uso en la planta para procesar la madera tan fresca como sea posible.
- Uso de máquinas automatizadas de talar que descortezan parcialmente la madera. La eliminación de un 30-50% de la corteza hace que disminuya la disolución de los componentes presentes en la corteza, fundamentalmente extractivos, durante el descortezado en fábrica. Este pre-descortezado también favorece que la madera se seque mas rápidamente por lo que se tiene que evitar cualquier retraso entre la tala y el procesamiento de la madera.

En el parque de madera a veces se riega la madera con agua para evitar que se seque. Dichas aguas deben recogerse y tratarse de forma adecuada para evitar la contaminación del suelo.

6.3.14. Incremento de la concentración de las lejías negras

Definición

En la caldera de recuperación las sustancias inorgánicas se reducen y se separan en forma sólida (principalmente como Na_2S y Na_2CO_3) depositándose en el fondo de la caldera, mientras la materia orgánica se quema generando energía. En una caldera de recuperación convencional existen dos zonas diferenciadas, la parte superior donde tienen lugar las reacciones de oxidación y la inferior donde se produce la reducción. Las condiciones de operación como la temperatura, el suministro de aire, el contenido de sólidos secos de la lejía negra y el equilibrio químico se tienen que optimizar para minimizar las emisiones de partículas, óxidos del nitrógeno y dióxido de azufre de la caldera.

Un mayor contenido de sólidos en la lejía negra implica una mayor eficiencia energética de la caldera y una mayor tasa de reducción, que se traduce en una menor emisión de óxidos de azufre y nitrógeno por la chimenea. Por eso es importante someter las lejías negras a un proceso extra de evaporación para alcanzar un contenido en sólidos superior al 65% alcanzado tradicionalmente. El contenido óptimo de sólidos después de la evaporación, para minimizar las emisiones atmosféricas, es de 72-73%. En instalaciones provistas de superconcentradores, el contenido en sólidos de la lejía negra puede incrementarse hasta cerca del 80%, aunque el valor final depende del tipo de madera utilizada como materia prima.

Aplicabilidad

Esta técnica supone un cambio tecnológico o ampliación de la capacidad de evaporación de la planta, se puede integrar en el proceso en fábricas de pasta kraft nuevas y ya existentes. Se puede considerar la instalación de un superconcentrador como etapa separada de la planta de evaporación.

La concentración máxima de sólidos secos está limitada por el aumento de la viscosidad y por el potencial de formación de incrustaciones de la lejía concentrada. El límite depende de la especie maderera y de la temperatura. En la práctica, en fábricas de pasta de eucalipto y otros tipos de madera dura es difícil alcanzar una concentración de sólidos en las lejías mayor al 70%.

El incremento de la concentración de la lejía negra presenta los problemas típicos de los líquidos de alta viscosidad con dificultades en el trasiego de los mismos y con problemas de ensuciamiento de las tuberías.

Principales efectos ambientales

Las emisiones de azufre de la caldera de recuperación se reducen a 5-50 mg S/Nm³ o 0,1-0,3 kg S/t de pasta, en ocasiones se reducen casi a cero porque el exceso de sodio se vaporiza y reacciona con el azufre.

En contrapartida se produce un aumento de las emisiones de partículas que pueden controlarse con un precipitador electrostático (medida 6.2.14). También se puede producir un aumento de las emisiones de NO_x que deben ser controladas.

Aspectos económicos

En las fábricas existentes con producciones de la pasta kraft de 1.500 t/d, los costes de inversión para el incremento de la concentración de la lejía negra es la siguiente:

- Aumento de la concentración de 63% a 70%: 1,7-2,0 MEuro
- Aumento de la concentración de 63% a 75%: 3,5-4,0 MEuro
- Aumento de la concentración de 63% a 80%: 8,0-9,0 MEuro

Los gastos de explotación de las mejoras no son significativos, debido al aumento de la economía de la energía (entre el 1-7%) y por el aumento de la capacidad de la caldera de recuperación. El aumento de sólidos secos en la caldera de recuperación puede incluso dar lugar a algunos ahorros netos.

6.3.15. Mejora en el lavado de los lodos de caustificación

En el proceso de obtención de la lejía blanca se produce carbonato cálcico, producto de precipitación en la caustificación.

Los lodos de caustificación están formados en su mayor parte por carbonato cálcico precipitado.

Para reducir la pérdida de reactivos se procede a su lavado sobre los filtros de tambor empleados generalmente para su filtración.

El carbonato cálcico lavado con la menor proporción de sodio y álcali, se deshidrata sobre el filtro, para reducir su contenido en agua antes de la calcinación.

La mejora del lavado del precipitado mediante filtros de nueva generación, permite el aumento de la recuperación de reactivos y menores emisiones de compuestos de azufre en la calcinación.

Esta alternativa supone un mayor grado de reciclaje en origen del proceso, aunque requiere una tecnología avanzada.

6.3.16. Uso de combustibles pobres en azufre o combustibles renovables

El tipo de combustible utilizado depende en gran medida de la internalización de los costes ambientales, en el precio del mismo y de su disponibilidad. La evolución de la industria papelera en la última década, con uso extensivo de combustibles renovables, biomasa y del gas natural, deja un pequeño margen a la vía de la sustitución del combustible para reducir las emisiones de CO₂.

La sustitución de combustibles como el carbón, el fuel y el gasóleo por gas natural contribuye en gran medida a la reducción de emisiones de CO₂, NO_x y las emisiones de dióxido de azufre son prácticamente despreciables, al ser muy bajo el contenido de azufre en el gas natural.

Tabla 6.3.2.: Comparación de emisiones por unidad de energía producida

Centrales y equipos	NO _x	SO ₂	CO ₂ (*)
Convencional de carbón	1.790	4.050	920
Convencional de fuel oil	1.040	4.437	760
Convencional de gas natural	680	0	505
Turbina de gas natural en ciclo combinado (GN)	282	0	369
Turbina de gas natural en ciclo combinado (Gas-oil)	557	162	562

(*) Factores expresados en g/MWh, excepto para CO₂, en kg/MWh.

Dentro de la estrategia de optimización energética que se viene desarrollando en los países de la región del Mediterráneo, la valorización energética de los residuos del reciclaje se perfila como una oportunidad clave para avanzar en la mejora de la estructura de combustibles utilizados por el sector.

6.3.17. Minimización de pérdidas de rechazos en fábricas de pasta mecánica

Definición

Hay básicamente dos métodos disponibles para la separación de contaminantes procedentes de la pasta a baja consistencia:

- Depuradores centrífugos, donde se separan las partículas más pesadas que las fibras.
- Depuradores rotativos a presión, provistos de agujeros (1-2 mm) o ranuras (0,10-0,35) , en el que el material de mayor tamaño se separa.

Los rechazos en ambos casos van acompañados de una gran cantidad de fibras que pueden recuperarse. Para ello es necesario que los depuradores trabajen en serie o cascada. Los rechazos con una consistencia del 30-40% se tratan en un proceso de 1 o dos etapas para separar las fibras que se recuperan. Los rechazos finales se incineran en una caldera o se evacuan con los residuos sólidos de la planta.

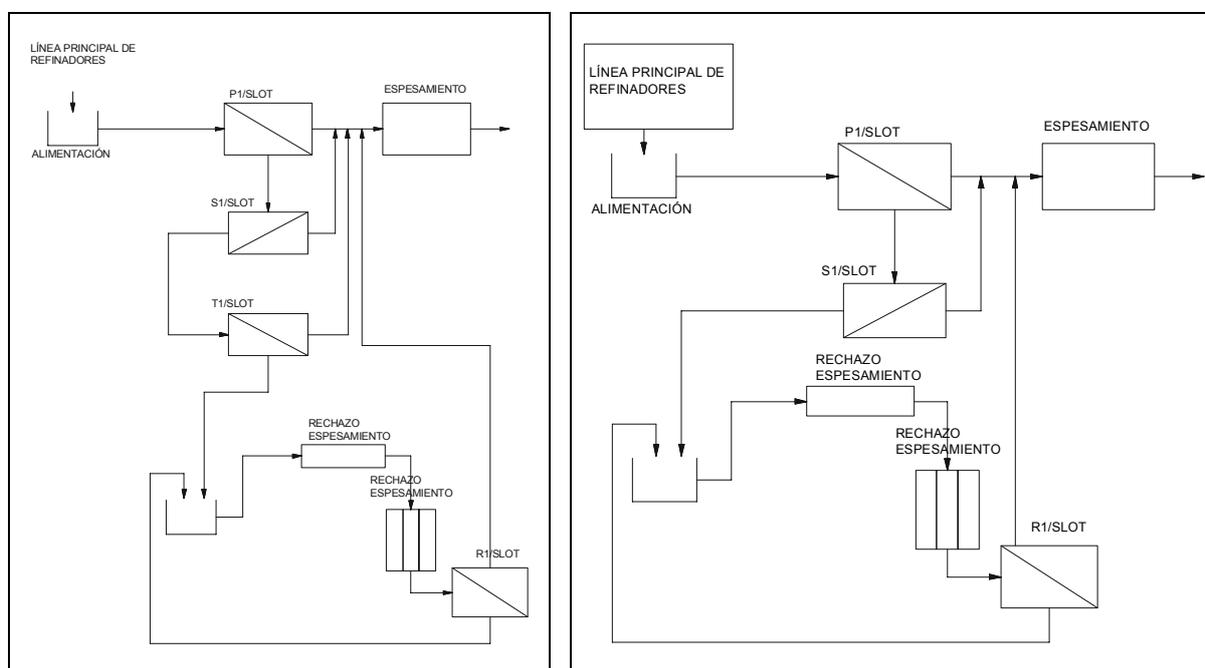


Figura 6.3.1. y 6.3.2. Alternativas 1 y 2, respectivamente, para la corriente de un proceso TMP de papel de prensa.

Aplicabilidad

Esta técnica puede ser aplicada tanto en fábricas de pasta mecánica nuevas como en las existentes.

Aspectos medioambientales

Con esta medida se reducen las pérdidas de fibras y disminuye la generación de residuos sólidos, por lo tanto se considera una medida de reciclaje en origen de la contaminación. Además el balance neto de energía es positivo.

También se reducen las cantidades de sólidos totales (TSS) en el efluente.

Aspectos económicos

El coste de inversión para una producción de 700 t/d de pasta es de 0,8-11 Meuros; y los costes operacionales de 0,3-0,5 Meuros, aproximadamente.

El beneficio económico puede deducirse de la comparación entre el coste económico de la alternativa y el ahorro por aumento del rendimiento en pastas, que se obtiene al reintegrar al proceso parte de los rechazos.

6.3.18. Recogida separada de los materiales no fibrosos

Los materiales no fibrosos acompañan al papel recuperado en los fardos. Se trata de materiales extraños que deben ser sacados del circuito de pastas. De no ser así, los elementos metálicos podrían ocasionar averías en los equipos, mientras que los materiales más blandos que pudieran disgregarse en partículas diminutas como consecuencia del tratamiento de la pasta se convertirían en impurezas, dando como resultado una peor calidad del producto final.

La separación se realiza en las primeras operaciones del tratamiento del papel recuperado:

- Alimentación al pulper: alambres, flejes, etc.
- Pasteado a alta consistencia-Separador: plásticos grandes, cuerdas, etc.
- Depuración centrífuga a alta consistencia: arenas, grapas, clips, etc.
- Depuración presurizada a media consistencia: plásticos pequeños, "hot melts", etc.

El conjunto de estos materiales suponen alrededor del 3-4% en peso, de la materia prima utilizada.

6.3.19. Actualización del diseño de las instalaciones con el objetivo de disminuir los consumos energéticos

La utilización creciente del papel recuperado está ocasionando mejoras continuas de los diferentes equipos que compone un sistema completo de tratamiento y preparación.

Debe de recordarse que en todo sistema de pasta reciclada existen dos objetivos:

- La eliminación de los materiales o componentes no fibrosos que acompañan al papel recuperado (plásticos, colas, ceras, etc.).
- El tratamiento de las fibras para la consecución de las características necesarias en el papel fabricado con ellas.

Para plantear el rediseño de un sistema deben fijarse las prioridades para cada instalación; y ello tanto en eliminación de impurezas y contaminantes para mejorar la calidad del producto, como en eficiencia de la propia máquina de papel teniendo en cuenta su configuración y condiciones de funcionamiento.

Un balance que contemple un compromiso entre la limpieza de la pasta, las pérdidas de fibras, y la calidad del papel que se pretende fabricar, permitirá seleccionar el circuito y equipos más adaptados para lograr el menor consumo energético. Normalmente esta medida se encuentra acompañada de un cambio tecnológico de la planta.

6.3.20. Uso de tecnologías energéticamente eficientes

Existen múltiples métodos aplicables en el proceso de fabricación para reducir el consumo de energía. Normalmente estas medidas se ligan a inversiones para sustituir, modificar o aumentar el equipo de proceso. Estas medidas no son aplicadas simplemente para el ahorro de la energía sino que al mismo tiempo aumentan la eficiencia de la producción, mejoran calidad del producto y reducen

los costes totales. Por lo tanto, es esencial que las técnicas de ahorro de energía se incorporen en todos los aspectos y niveles de la fabricación de papel. La mayoría de ellas pueden proporcionar ventajas y realzar la productividad.

Algunas de estas tecnologías y sus principales características se destacan en la siguiente tabla.

Tabla 6.3.3. Situaciones donde es posible la aplicación de medidas para la reducción del consumo energético y sus efectos

Tecnología energéticamente eficiente	Tipo de energía demandada y cantidad	% ahorro de energía y cantidad		Observaciones
Desintegración a alta consistencia	Electricidad para bombas y rotores; 60 kWh/t	33%; 20 kWh/t		Alcanzado con la optimización del diseño del rotor
Mejores practicas en el refino	Electricidad para motores; 100 -500 kWh/t	20%;	80 kWh/t	Depende de las propiedades del producto; variaciones entre la composición de fabricación y grados de calidad
Alta consistencia en la formación	Eléctrica; 200 kWh/t	20%; 40 kWh/t		Aplicado al papel recuperado
Doble tela en la sección de formación	impulsión	no datos		No aplicado específicamente para ahorro de energía
Optimización de los sistemas de vacío	Eléctrica	25%		Mejora del drenaje
Sistema de conducción de velocidad variable	Eléctrica	no datos		
Motores de alta eficiencia eléctrica	Eléctrica	no datos		
Buen dimensionado de motores eléctricos	Eléctrica	no datos		
Presas calientes o aumento de la zona de presión	Calor en la sección de secado	15-20%		Principalmente fibras recuperadas
Corrección del perfil de la humedad de la dirección cruzada mediante calentadores de IR	Calor en la sección de secado	1-2%		Reduce el grado de sequedad excesiva
Control de la humedad de los gases de combustión	Calor	10%		Permite el ajuste y la reducción del flujo de aire
Recuperación del calor de los gases de combustión	Calor	10%		Ver descripción siguiente
Recuperación de condensados	Calor	10%		El agua puede ser devuelta y usada
Secado directo por gases de combustión y aire	Calor	40%		Usado en el papel tissue maquina campana
Incremento de sólidos en la prensa encoladora	Calor para la sección de secado después del encolado	Reducción de carga de sequería 48%		Conduce a una reducción en el nivel de roturas

La técnica descrita a continuación es un ejemplo de una de las posibilidades existentes para ahorrar energía utilizando tecnologías energéticamente eficientes.

Descripción

El objetivo del sistema de recuperación de calor es disminuir el consumo de energía primaria en las fábricas, utilizando la energía residual del proceso de manera económicamente viable. Casi toda la energía térmica consumida en una planta de fabricación de papel se utiliza en el secado del papel, así, la sección de secado de la máquina de papel es la que más cantidad de energía consume. Aproximadamente el 80% de la energía necesaria en la sección de secado proviene del vapor primario para los cilindros secadores y el resto proviene del aire y de la banda húmeda de papel. Casi toda la energía que sale de la sección de secado se pierde con la salida de vahos. Cerca del 50% de esta energía, es decir aproximadamente 620 kWh/t papel, se pueden recuperar con un sistema recuperación eficiente de calor.

Las aplicaciones típicas que se están utilizando son los intercambiadores de calor aire-aire o aire-agua ambos de diseño tipo placas (en algunos casos se recurre al intercambio por contacto directo, en forma de *scrubbers*). El calor recuperado se utiliza principalmente para suministrar aire caliente a la campana y como aire de ventilación de la nave de la máquina. Después, el aprovechamiento más común es para la calefacción del agua de circulación y del agua del proceso respectivamente. Estos intercambiadores de calor son parte de las torres de recuperación del calor.

Aplicabilidad

Puede ser aplicado en plantas nuevas y existentes si en sus procesos se generan flujos de gases con elevado contenido energético y si existen puntos con demanda de energía calorífica. Los intercambiadores de calor para el suministro de aire de campana de la calefacción siempre se pueden instalar.

Principales efectos ambientales

Se ahorran cantidades considerables de vapor primario, lo que significa un menor impacto en la generación de vapor. Los logros dependen también de las condiciones climáticas.

La mayoría del calor se recupera en el agua de la circulación, que después se utiliza normalmente para calentar el aire de la ventilación del edificio, para la calefacción del agua de proceso (ejemplo para los rociadores) y para las aguas blancas de la máquina.

Aspectos económicos

Los sistemas de la recuperación del calor tienen periodos de amortización generalmente cortos. No es siempre económico recuperar la mayor cantidad posible de calor, siempre se necesita un análisis específico para maximizar los beneficios. La solución dependerá del coste relativo de la energía (en kWh) para el combustible, el vapor y la electricidad.

Experiencias operacionales

Los sistemas de recuperación del calor disponibles dependen del distribuidor de la maquinaria. El sistema óptimo es específico para cada fábrica de papel y ha de ser diseñado especialmente para cada caso. Generalmente los intercambiadores de calor vienen acompañados con dispositivos de limpieza necesarios para mantener limpia la superficie y evitar su colmatación.

6.3.21. Eliminación de vertidos accidentales u ocasionales

Estos vertidos no están relacionados con el proceso y son fruto de fallos de mantenimiento o falta de prevención o procedimiento. El almacenamiento y las instalaciones de manipulación de productos potencialmente contaminantes, deben estar diseñados para evitar también este tipo de accidentes.

Esta medida tiene un carácter fundamentalmente preventivo, considerándose una Buena Práctica Ambiental:

- De carácter general: Estableciendo procedimientos que señalen claramente las repercusiones sobre el medio ambiente y el carácter contaminante de las distintas operaciones.
- En las instalaciones de proceso: Dimensionando adecuadamente los sistemas de aguas blancas y rotos para poder absorber tres horas de producción en los casos de roturas continuadas en la máquina de papel. La inversión para sendas tinas de aguas y pasta procedentes de rotos para una producción de 100 t/d de papel es de alrededor de 140.000 euros.
- En los sistemas de almacenamiento y trasiego de cargas y productos auxiliares: Instalando instrumentos de seguridad tales como detectores de fugas, alarmas de nivel, etc. y construyendo barreras o muretes de contención. Se trata normalmente de inversiones ligeras (< 2% sobre inversión principal).

6.3.22. Formación, educación y motivación al personal

Las fábricas son gestionadas y operadas por un conjunto de personas, por lo que la formación es un camino seguro para reducir los consumos de energía y de agua y las descargas de efluentes que puedan dañar el medio ambiente.

La formación, educación y motivación del personal supone una Buena Práctica Ambiental de eficiencia probada.

6.3.23. Optimización del control del proceso y mantenimiento eficiente de las instalaciones

La optimización del proceso y mantenimiento eficiente de las instalaciones se lleva a cabo de acuerdo con las condiciones iniciales de diseño y funcionamiento.

Los sistemas avanzados de control de procesos mantienen las variables de proceso en los valores óptimos de consigna, corrigiendo las pequeñas desviaciones que puedan producirse en el transcurso de la fabricación.

Los beneficios directos de un sistema de control avanzado de proceso en la fabricación de pastas y de papel están relacionados con las pérdidas que se originan en el proceso respecto a las condiciones óptimas; entre las que se pueden citar:

- Pérdidas de calidad de productos. Éstas serían las más importantes, desde el punto de vista económico, si el producto queda fuera de especificaciones, y supone un consumo de materia prima, agua, y energía, generación de efluentes gaseosos y vertidos hídricos, así como aumento en la producción de residuos, sin la contrapartida de producción de bienes.
- Desviación de las variables de proceso. Estas desviaciones originan una disminución en los rendimientos de las operaciones y procesos, y suponen aumento de consumo en materias primas, aumento en el consumo de energía y aumento en los consumos de agua.

La reducción de los rendimientos de las distintas etapas conduce también al aumento de la emisión de contaminantes por reducción en la conversión de las etapas de reacción química, y, por motivo análogo, la reducción de la eficacia en las etapas de depuración de efluentes tiene como consecuencia el aumento del caudal y de las concentraciones de las emisiones y de los vertidos.

A título de ejemplo, se puede plantear el control predictivo de un digestor continuo tipo Kamyr para la producción de pasta Kraft, basados en los parámetros de cocción como la viscosidad de las pastas e índice kappa, y con las variables del proceso como presión, temperatura, relación lejías/ madera o hidromódulo, vaporización y preimpregnación de la madera con la lejía de procesos y tiempo de residencia.

El control del reactor permite optimizar los consumos de vapor, disminuir la emisión de compuestos de azufre reducido y proporcionar la pasta de la calidad especificada con un menor consumo de reactivos en las etapas posteriores de deslignificación con oxígeno y blanqueo, con el consiguiente ahorro de aguas de lavado para dar una calidad especificada de pasta.

El control avanzado de los procesos de generación de energía, junto con el de los equipos destinados a la depuración de los gases de combustión, permite obtener unos rendimientos térmicos y de depuración mayores que los que se obtienen con sistemas de control basado en lazos de control convencionales PID, proporcional, integral derivado; y este sistema mejor que el control toda-nada, que resulta muy obsoleto.

Dada la relación coste/ beneficio que se obtiene mediante el control automático de los procesos, y que se amortizan en cortos períodos de tiempo, se aplica esta tecnología en prácticamente todas las industrias de fabricación de pasta y/o papel.

En las fábricas de papel se pone de manifiesto la eficacia de los sistemas de control avanzado de proceso en todos los parámetros de máquina, prensa y sequería. El control de los siguientes parámetros: consistencia, alimentación a máquina, gramaje, formación, y humedad en sequería; permite el aumento de la producción, la reducción de paradas por rotura de hoja y el mejor aprovechamiento de las materia primas y de los aditivos. Lo que supone un ahorro económico y unas mejoras ambientales derivadas de la reducción de la carga contaminante en los vertidos hídricos. También es importante, a efectos de la reducción en el consumo de agua, el control de las variables de circulación de agua de proceso.

El mantenimiento de las instalaciones, tanto de proceso como de depuración de los efluentes, en la industria de la pasta y el papel es de gran importancia. El mantenimiento preventivo reduce averías, pérdidas, vertidos incontrolados, aumenta los rendimientos en materias primas, reduce las emisiones, vertidos, generación de residuos y además, reduce las situaciones de emergencia por roturas o paradas no programadas.

El programa de mantenimiento establece la secuencia de operaciones periódicas a realizar en cada una de las máquinas, así como directrices para la detección de averías mediante control del consumo eléctrico en motores, control de la pérdida de carga en conducciones, control de las temperaturas de intercambio térmico, control del nivel sonoro y de vibraciones en máquinas, estado de juntas de estanqueidad y cierres mecánicos, etc. El mantenimiento predictivo prestará una atención preferente a los puntos críticos de la instalación, definidos en la evaluación de riesgos ambientales.

6.3.24. Gestión medioambiental

Las empresas en todos los Países industrializados, están adoptando Sistemas de Gestión Medioambiental (SGMA) para administrar con mayor eficiencia y sistematizada los problemas y las oportunidades en el campo ambiental. La integración de la Gestión Medioambiental en la gestión total de la empresa es un punto fundamental, siendo uno de los aspectos relevantes que inciden en las empresas.

Se llama Sistema de Gestión Ambiental al conjunto de responsabilidades organizativas, procedimientos, procesos y medios que se requieren para la implantación de una política medioambiental en una empresa o centro productivo. Es el marco o el método empleado para llevar a una organización a alcanzar y mantener un funcionamiento en conformidad con las normas establecidas y dirigido a lograr los objetivos definidos en la política medioambiental de la organización.

El establecimiento de un SGMA se realiza para obtener una mejora en la actuación medioambiental. La eficacia de un SGMA está vinculada a un minucioso conocimiento de aquellos elementos de su actividad que pueden afectar significativamente al medio ambiente. Por tanto, un SGMA realiza el comportamiento medioambiental de una organización en lo referente a los impactos que esta organización tiene sobre el suelo, agua, generación de residuos y gestión de los recursos naturales entre otros.

Como se ha indicado la implantación de un sistema de gestión medioambiental parte, en todos los casos, por integrar las consideraciones medioambientales en la gestión global de la empresa.

Los objetivos básicos deben ir enfocados siempre a mejorar los resultados ambientales de la empresa y cumplir con la normativa medioambiental vigente. Esta mejora medioambiental tiene que verse reflejada en una producción limpia que consiste en la aplicación continua de una estrategia de prevención ambiental a los procesos y a los productos con el fin de reducir riesgos tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. La mejora ambiental en los procesos promueve optimizar la cantidad mínima de materiales agua y energía.

Básicamente existen dos modelos de reconocimiento, la certificación ISO-UNE 14001 y el reglamento EMAS.

ISO-UNE 14001

Es una norma voluntaria, internacional, aplicable a todo tipo y tamaño de organización que tiene como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos para desarrollar un sistema de gestión medioambiental. No tiene como fin ser usadas para crear barreras comerciales.

Es una herramienta que tiene como objetivo especificar los requisitos para que un SGMA, capacite a una organización para formular una Política y unos Objetivos, teniendo en cuenta los requisitos legales y la información acerca de los impactos medioambientales significativos.

El SGMA proporciona un proceso estructurado para la consecución de mejoras continuas, cuyo ritmo de aplicación y extensión será determinado por la organización a la vista de factores económicos y otras circunstancias.

EMAS (Reglamento 761/2001)

Es una herramienta que especifica también los requisitos para implantar un Sistema de Gestión Medioambiental pero es sólo aplicable a los estados de la Unión Europea. Las principales diferencias con la ISO 14001 son que necesita realizar una revisión inicial medioambiental como requisito y que debe realizar una declaración medioambiental anual.

Las organizaciones que tienen implantado un SGMA mejoran la imagen de su empresa ante el público en general y los empleados debido a que garantizan el cumplimiento de la normativa medioambiental.

Dentro de los beneficios de un SGMA está el ahorro de costes al plantear objetivos de minimización de consumos de recursos (agua, energía, etc.), minimización de residuos, minimización de embalajes, mejora de imagen en el mercado: esto es posible cuando aumenta la conciencia ecológica de los consumidores.

6.4. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMERGENTES

6.4.1. Nuevos procesos de pasta TMP energéticamente eficientes

Definición

Los procesos de pasta TMP consumen grandes cantidades de energía eléctrica en el intervalo de 1.600-3.200 kWh/t.

Hoy en día se están llevando a cabo muchos trabajos de investigación destinados a reducir el consumo de energía en este tipo de procesos. Desde mediados de 1990 se encuentran algunas aplicaciones de nuevos procesos energéticamente eficientes (RTS y Thermoplus®).

Estado de desarrollo

Estas técnicas, RTS y Thermoplus®, consumen sustancialmente menos energía que los procesos habituales de pasta TMP. A mediados de 1990 se instalaron procesos Thermoplus®, tanto en Europa como en América del Norte. La primera instalación de RTS se realizó en Suiza en 1996. Las dos técnicas pueden considerarse como técnicas disponibles, pero se instalan normalmente sólo en fábricas nuevas o cuando se reemplazan los equipos en las fábricas existentes.

Principales aspectos medioambientales

Los procesos RTS reducen el consumo de energía en el refinado de las astillas incrementando la velocidad de los discos. Al mismo tiempo se eleva la temperatura. La "R" tiene que ver con el tiempo de retención, la "T" con temperatura y la "S" velocidad (*speed* en inglés). Las primeras aplicaciones de esta técnica muestran una reducción del 15% en el consumo de energía comparado con las técnicas convencionales de TMP.

Respecto al proceso Thermoplus®, la primera etapa de refinado se lleva a cabo a temperaturas relativamente bajas. La presión y la temperatura se aumentan previamente a la segunda etapa de refinado, la cual se lleva a cabo a temperaturas y presiones realmente elevadas (700 kPa y 170 °C). Se han obtenido reducciones del 10-20% de energía.

Aspectos económicos

No se han encontrado datos disponibles.

6.4.2. Cierre de los circuitos de agua con evaporación e incineración de los concentrados

Definición

Una alternativa para cerrar los circuitos de agua es la evaporación de las aguas residuales e incineración de los concentrados en una caldera de recuperación. Esta técnica, considerada como emergente, se puede aplicar a todas las aguas o aquellas que están más contaminadas enviando el resto al tratamiento primario y secundario.

Es una alternativa a considerar cuando se quiere aumentar la capacidad de la planta de producción y el tratamiento biológico se queda pequeño, requiere un cambio tecnológico de la planta e implica un aumento del reciclaje en el proceso.

Se ha aplicado a una planta CTMP donde el condensado se reutiliza en la propia planta reduciendo el consumo de agua fresca. También se ha utilizado para cerrar completamente los circuitos de aguas en una planta CTMP de Canadá, como se observa en la figura 6.3.3. El agua residual se trata previamente en un clarificador krofta, para eliminación de sólidos en suspensión y, posteriormente, se evaporan en dos etapas. En la primera etapa se alcanza una concentración en sólidos del 35% y en la segunda del 70%. Los sólidos obtenidos junto con los de la clarificación se incineran en la caldera de recuperación. El destilado de la primera etapa se segrega en fracciones para evitar la contaminación del destilado más puro, que representa un 85%. La fracción con mayor contenido en compuestos orgánicos volátiles se trata por "stripping" para separar la materia orgánica que se incinera.

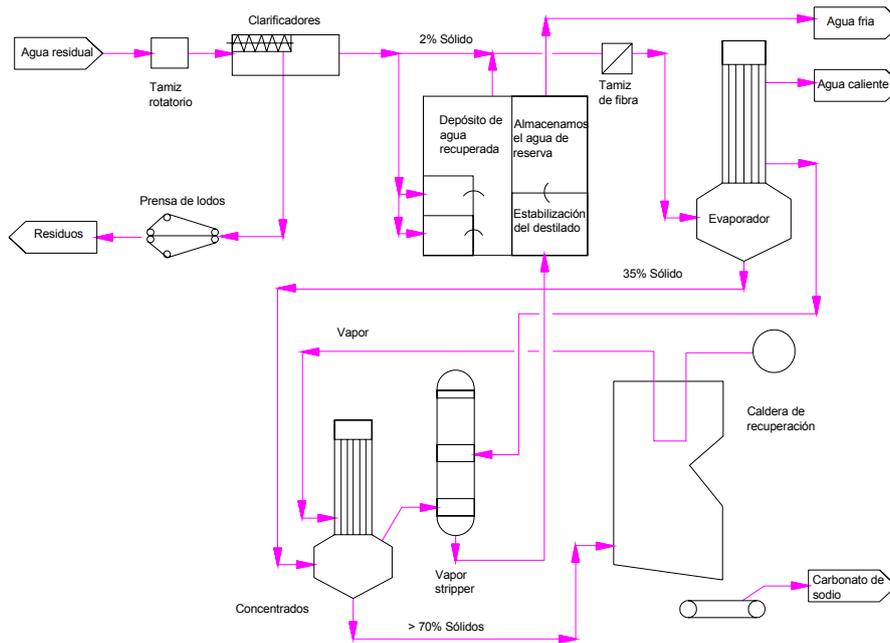


Figura 6.3.3. Esquema del cierre completo de los circuitos de aguas de una planta CTMP de Canadá.

En la actualidad se ha desarrollado un nuevo evaporador de múltiples efectos llamado ZedivapTM.

La mayoría de los destilados procedentes de los evaporadores pueden utilizarse en las fábricas de pasta directamente a 65 °C. No obstante, algunas fábricas requieren que la temperatura del agua sea de 20-30 °C, por lo que parte de los destilados son refrigerados y, a su vez, la mayor parte de los compuestos orgánicos son eliminados mediante depósitos de estabilización biológica.

La materia fundida procedente de la caldera de recuperación se enfría y solidifica en cintas transportadoras y posteriormente se deposita en contenedores.

Aplicabilidad

Esta técnica de proceso integrado se puede llevar a cabo tanto en fábricas nuevas como en las existentes. Se ha utilizado en plantas CTMP y TMP aunque se puede utilizar en otros procesos. La limitación es el elevado coste de evaporación, la disponibilidad de capacidad en la planta de recuperación, una elevada capacidad para almacenar aguas residuales, la disponibilidad de espacio, etc.

Cuando se usan evaporadores, se debe modificar a planta de blanqueo; por ejemplo, no se puede utilizar silicatos de sodio porque generan problemas de incrustaciones.

Aspectos económicos

El consumo energético para un proceso MVP se estima en 13 kWh/m³ de agua tratada mientras que en los evaporadores de efecto múltiple es de 1,4 kWh/m³, para una capacidad en ambos casos de 3.600 m³/d.

6.4.3. Eliminación de agentes quelantes

Definición

Los agentes quelantes EDTA (ácido etilendiaminetetraacético) y DTPA (ácido dietilentetraminopentaacético) han sido utilizados tradicionalmente en la industria de la pasta y el papel por su poder secuestrante y su habilidad para suprimir la actividad de los iones metálicos de transición disueltos. Estos iones metálicos son capaces de catalizar la descomposición del peróxido de hidrógeno, usado como agente de blanqueo, en radicales, con la consiguiente reducción de su poder blanqueante y aumento del costo de blanqueo. Así, en la fabricación de pasta TCF se emplean secuencias con agentes quelantes "Q" para evitar la influencia negativa de los iones metálicos pesados sobre los productos químicos activos (peróxido de hidrógeno) empleados en el blanqueo TCF de la pasta.

No obstante, se ha comprobado que en las aguas residuales de la fábrica son eliminadas altas concentraciones de agentes quelantes "Q" (entre el 25-40% del total utilizado). Y, a pesar de que el EDTA es una sustancia que se considera no tóxica, presenta dificultades para su total biodegradación, por lo que es deseable su eliminación de los vertidos de fábrica.

En los últimos tiempos se han estudiado técnicas que permiten una mayor recuperación de agentes quelantes "Q".

Existen dos opciones de tratamiento de eliminación de EDTA:

Opción 1: Tratamiento biológico con o sin lodos activos, mediante el cual se obtienen buenas reducciones de la DQO y DBO de los efluentes. No obstante este sistema no puede reducir significativamente el EDTA de dichos efluentes. Se ha encontrado que el EDTA es resistente a la biodegradación en plantas de lodos activos operando en condiciones normales (pH=7). Además el EDTA no se absorbe en los lodos. Un estudio reciente muestra el incremento de biodegradación del EDTA en una planta de lodos activos bajo condiciones alcalinas (pH=8-9). Se consigue una reducción adicional del EDTA, sobre el 50% (siendo el 10% a pH 7).

Opción 2: Otra técnica de reducción del consumo y vertido de Q, usado previamente a la etapa de peróxido de hidrógeno en el blanqueo TCF, es el uso de membranas para el tratamiento de estos efluentes.

Opción 3: En la actualidad se está investigando su sustitución por otros compuestos químicos que sean más fácilmente biodegradables como por ejemplo: poliaminas modificadas aniónicas, sales de ácido poliasparacínico, ácido iminodissuccínico, etc.

Estado de desarrollo

La biodegradación del EDTA en plantas de lodos activados en condiciones alcalinas parece prometedora. La tratabilidad del EDTA contenido en las aguas residuales de las plantas de blanqueo en plantas de lodos activados en condiciones alcalinas moderadas ha sido confirmada a escala de laboratorio [C.G. van Ginkel, 1997 a+b] y a gran escala en plantas de fangos activados.

Se necesita la información detallada sobre los complejos de EDTA y la influencia del tiempo de retención del lodo, de la temperatura etc. para mejorar el cálculo de la eliminación de EDTA de las aguas residuales de las fábricas de papel (los complejos de Fe(III) EDTA son bien conocidos como las sales recalcitrantes, las sales formadas por Mn y Ca con el EDTA son más fácilmente biodegradables). Un tiempo de retención bajo de lodo activo y el complejo Fe(III)EDTA pueden ser la causa de una eliminación relativamente baja.

Por otra parte, la fotodegradación del complejo de FeEDTA también se ha descrito en la bibliografía [Kari, 1996]. El FeEDTA es el único complejo de EDTA que se puede transformar fotoquímicamente en las aguas superficiales.

Recientemente, se ha puesto en marcha la primera aplicación a escala industrial del sistema de Kemira NetFloc (PEO/resina fenólica) para la recuperación del EDTA de los efluentes de las plantas de blanqueo.

Principales efectos ambientales

En una planta de fangos activos a escala real, en condiciones moderadamente alcalinas (pH 8 - 9) se consiguió una reducción media cercana al 50% del EDTA (y del orden del 10% a pH 7). Los resultados también indicaron que el ajuste del pH a 8 - 9 con el óxido de calcio (dosificaciones cercanas a 90 mg CaO/l) no interfirió con la operación normal de la planta de lodos activos. Las concentraciones de EDTA en las muestras con biodegradación acelerada fueron relativamente constantes (2 - 4 ppm).

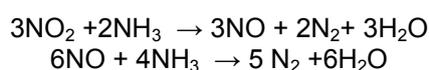
6.4.4. Empleo del proceso de reducción selectiva no catalítica “SNCR” (Selective non catalytic reduction)

Definición

La reducción no catalítica selectiva (SNCR) permite disminuir las emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x, es un proceso industrialmente viable, que permite alcanzar eficacias de reducción entre el 50% y el 80%.

La diferencia entre los procesos selectivos y no selectivos se encuentra en la reducción del oxígeno: así, en uno y otro, la reducción se inicia con la conversión del NO₂ a NO. En los no selectivos, la siguiente etapa es la reducción del oxígeno y cuando se ha agotado prácticamente, tiene lugar la etapa que realmente conduce a la depuración de los gases, la reducción del NO a nitrógeno elemental y agua: así, los productos finales, son los constituyentes naturales del aire.

El proceso NO_x-OUT es uno de los varios procesos que utilizan la técnica de reducción selectiva no catalítica para reducir las emisiones de NO_x mediante la conversión de amoníaco a nitrógeno según las siguientes reacciones:



Si se utiliza urea ocurre primeramente la siguiente reacción:



El agente reductor empleado en las pruebas realizadas a escala industrial es una disolución de urea en agua con resultado final de generación de amoníaco. La reacción ocurre a una temperatura cercana a 1.000 °C. Si la temperatura aumenta considerablemente las emisiones de NO_x aumentan, pero si ésta baja se genera mayor cantidad de amoníaco. En el proceso NO_xOUT el intervalo de temperatura se ensancha y los compuestos químicos suprimen la formación de amoníaco. Los parámetros más importantes en la optimización de este proceso son la producción no deseada de amoníaco mediante reacciones secundarias y el consumo de compuestos químicos.

Estado de desarrollo

Una compañía sueca de pasta Kraft realizó una prueba a gran escala del proceso NO_xOUT patentado en una de sus calderas de recuperación. Durante el período de la prueba, la caldera funcionó entre 95 y 105% del rango continuo máximo. El proyecto ha demostrado que la reducción térmica de los

óxidos de nitrógeno utilizando el proceso de NO_xOUT se puede aplicar con éxito en las calderas de recuperación.

Principales efectos ambientales

Comparado con otros procesos de combustión, se produce menos cantidad de óxidos de nitrógeno en la caldera de recuperación. Los niveles típicos se encuentran entre 50 y 80 mg NO_x/MJ. A pesar de las concentraciones relativamente bajas de NO_x de la caldera de recuperación, ésta es la mayor fuente de emisiones de NO_x en las plantas de pasta Kraft (debido al elevado flujo de gas). Por lo tanto, las medidas de tratamiento de humo aplicadas a la caldera de recuperación representarían el mayor efecto sobre las emisiones totales. Además, se prevé un aumento de las emisiones de NO_x de la calderas de la recuperación de alta eficacia debido a la demanda del incremento del contenido seco de la leña negra y el incremento de las cargas del horno.

6.4.5. Bioreactor de membrana

Descripción

Se trata de un proceso combinado de separación y oxidación. Consiste en una intensa oxidación biológica que persigue la descomposición de la materia orgánica y en la separación de sólidos y líquidos por medio de una membrana. Las membranas están sumergidas dentro de la biomasa de la planta de lodos activados.

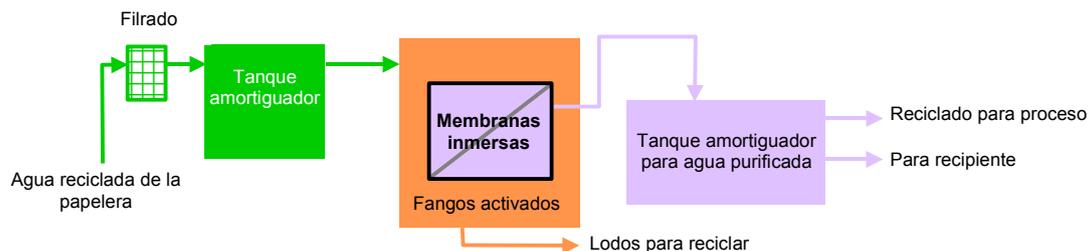


Figura 6.3.4. Bioreactor de membrana utilizando membranas inmersas en un reactor de lodos activos (MRB).

Estado de desarrollo

La primera aplicación a escala real se puso en funcionamiento en 1999 en una fábrica francesa de cartulina (Papeterie du Rhin). El caudal de diseño es relativamente pequeño (900 m³/d), aunque intentarán aumentar progresivamente la fracción de agua tratada reciclada en el proceso.

Principales efectos ambientales

Para algunos tipos de fábricas, que no podrían resolver el problema de los límites de descarga (por ejemplo: cuando tienen una concentración o cargas levemente más alta) un bioreactor de membrana (MBR) podría permitir alcanzar el límite de descarga. El proceso se podría también utilizar como pretratamiento para los procesos de separación/concentración tales como nanofiltración (NF) o evaporación. Esta aplicación puede ser interesante para los operadores de las fábricas de papel que piensan utilizar el MBR para conseguir el cierre del circuito del agua.

Los biorreactores de membrana pueden producir menos cantidad de lodo, hasta la mitad, que un tratamiento biológico convencional, debido a las características específicas de la biomasa activa que crece en las aplicaciones de MBR.

6.4.6. Recuperación de cenizas y CO₂ procedentes de la caldera para producir cargas minerales de uso papelero

Con esta tecnología se produce carbonato de calcio precipitado reciclado. El origen es la combustión de los lodos de destintado (alternativa 6.2.21), siendo la principal ventaja para el fabricante de papel que utiliza carbonato cálcico precipitado que en el proceso puede conseguir a voluntad diferentes medidas y formas de las partículas, lo que optimiza su rendimiento en las aplicaciones papeleras.

Se ha descubierto que las cenizas procedentes de la incineración de lodos de destintado hacen posible la nucleación y desarrollo del carbonato cálcico precipitado. También se ha comprobado que puede sustituir a parte de la cal (CaO) que es utilizada para producir hidróxido cálcico.

Esta técnica reduce significativamente la cantidad de residuos sólidos procedentes de plantas de destintado, la de combustible necesario para producir CaO, y también las emisiones de CO₂.

6.4.7. Sistemas de diagnóstico

Definición

Debido a la complejidad de los procesos de fabricación del papel, se han ido desarrollando nuevos sistemas de información de datos. La complejidad de los procesos puede ser ilustrada mediante el ejemplo del uso del agua. El incremento de la recirculación de agua conlleva una química diferente en el proceso, aumento de la temperatura del agua, diferentes prácticas de gestión de agua, nuevos rechazos de corrientes, cambios en las operaciones de los tratamientos de los efluentes, incremento en el consumo de electricidad, etc.

Por otro lado, el consumo de energía o electricidad viene determinado también por la velocidad de producción de la máquina y por el nivel de desarrollo en su operación.

Las diferentes elecciones tecnológicas tendrán diferentes efectos en el balance de energía de la fábrica. Se puede concluir, por tanto, que las soluciones de procesos inteligentes en el futuro intentarán combinar en conjunto los sistemas de energía – agua - fibras - compuestos químicos – con el objeto de crear una buena integración de la fábrica.

Estado de desarrollo

Actualmente se encuentran en investigación varias herramientas informatizadas capaces de analizar la complejidad del sistema, incluyendo los efectos producidos.

Principales aspectos medioambientales

El factor clave es como llevar a cabo procesos capaces de emitir menos contaminantes al aire, agua y al mismo tiempo reducir la formación de residuos sólidos y energía. Los requerimientos para los nuevos procesos son, mejores calidades de papel y mayor productividad de la máquina, así como mejor gestión de los procesos. Esto significa mayor conocimiento en el comportamiento de los procesos.

Está claro que las nuevas herramientas de optimización permiten llevar a cabo el desarrollo futuro de los procesos de fabricación del papel. Algunas herramientas informatizadas contienen la siguiente información:

- Información sobre concentraciones de contaminantes en diferentes partes del proceso.
- Modelos de comportamiento de los contaminantes.
- Métodos de tratamiento y parámetros de proceso de separación.

- Métodos para optimizar el tratamiento de agua respecto a la concentración de contaminantes y su comportamiento.
- Identificación de fuentes de calor.
- Métodos de optimización del uso de calor mediante procesos de integración.
- Información de emisiones y formación de residuos sólidos.
- Diseño de proceso detallado basado en las elecciones llevadas a cabo.
- Métodos para analizar y desarrollar la operación del proceso del paso del papel por la máquina.

Aspectos económicos

No se ha encontrado información al respecto; no obstante, la inversión total de la implementación de herramientas informatizadas no supone un coste muy elevado.

6.5. TABLA RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PROPUESTAS

A continuación se muestra a modo de tabla resumen todas las alternativas tecnológicas propuestas con una breve descripción de en qué consisten, así como los beneficios que se obtienen de su aplicación y las repercusiones que tiene dicha aplicación en el proceso productivo.

Están clasificadas según cuatro categorías: vertidos líquidos, emisiones a la atmósfera, residuos sólidos / lodos y energía, tanto para la fabricación de pastas (pasta mecánica "PM", pasta Kraft "PK", pasta al sulfito "PS" y pasta a partir de papel recuperado "PR"), como para la fabricación de papel.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 1: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.3.1.	PM, PK, PS,	Descortezado en seco	Técnicas de descortezado de los troncos en seco.	Se reduce el caudal de agua disminuyendo la DQO y los sólidos totales disueltos (TDS). Mayor generación de energía en las calderas de cortezas	Ninguna
6.2.2.	PM	Recirculación de agua	Reutilización del agua del proceso	Disminución de vertidos líquidos	Circuitos muy cerrados podrían tener efecto negativo en la calidad del producto final
6.3.2.	PM, PK, PS	Uso de tanques de almacenamiento con volumen suficiente para optimizar el consumo de agua	Los tanques de almacenamiento permiten evitar derrames durante el arranque y parada de la planta o cuando se produce alguna alteración del proceso	Menor volumen de aguas residuales y menor carga contaminante. Disminuye los riesgos de alterar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales al evitarse descargas accidentales con altas cargas orgánicas, o con valores de pH extremos	Ninguna
6.3.3.	PM, PK, PS	Control y recuperación de fugas y escapes	Recogida y tratamiento de vertidos y reboses internos	Menores vertidos al agua	Requiere un ligero incremento en la capacidad de la planta de evaporación

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 1: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.3.4.	PK, PS	Tamizado de la pasta cruda en circuito cerrado de agua	Circuitos cerrados de la planta de depuración de la pasta cruda	Se evita la descarga al efluente de materias orgánicas disueltas en el agua	Circuitos muy cerrados podrían tener efecto negativo en la calidad del producto final
6.4.2.	PM	Cierre de los circuitos de agua con evaporación e incineración de concentrados	Cierre de circuitos de agua mediante la evaporación de las aguas residuales e incineración de los concentrados en una caldera de recuperación	Disminución de vertidos líquidos	Elevado coste de evaporación, disponibilidad de espacio, etc.
6.3.8.	PR	Cierre del circuito de agua con tratamiento biológico de los efluentes integrado en el proceso	Cierre de circuitos de agua mediante un tratamiento biológico interno que permite se recirculación	Permite reducir prácticamente a cero los vertidos líquidos	Se debe controlar la concentración de calcio en las aguas blancas, puesto que se puede producir precipitación del carbonato de calcio en el circuito de agua
6.3.5.	PM, PK, PS	Lavado eficiente	Técnica eficiente de separación de las fibras de celulosa de la lejía residual de cocción	Menor consumo de productos químicos de blanqueo, así como menores DQO, DBO5 y AOX residuales (pastas blanqueadas)	Mayor generación de energía
6.3.6.	PK, PS	Cocción modificada extendida	Obtención de pasta con menor contenido en lignina y más fáciles de blanquear	Aumento de la cantidad de sustancias orgánicas disueltas en lejías que se envían a la caldera de recuperación Reducción de AOX y DQO Disminución de productos químicos de blanqueo	Mayor generación de energía
6.2.3.	PK, PS	Deslignificación con oxígeno	Tratamiento con oxígeno para la eliminación de la lignina residual	Menor generación de AOX y DQO residuales de la planta de blanqueo Menor consumo de agentes de blanqueo Menor coste de blanqueo	Mayor generación de energía
6.3.7.	PK	Blanqueo con ozono	Blanqueo de pasta con ozono, con el objetivo de proporcionar una mayor capacidad de deslignificación de la pasta.	En procesos ECF se reduce el vertido de AOX, en procesos TCF se permiten alcanzar mayor blancura con un menor consumo de peróxido, y facilita el cierre de circuitos de la etapa de blanqueo	Ninguna
6.2.4.	PK	Blanqueo ECF	Blanqueo de pasta sin utilización de cloro gas	Menor formación de compuestos orgánicos clorados y carga de dioxinas (AOX)	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 1: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.5.	PK, PS	Blanqueo TCF	Blanqueo de pastas con agentes exentos de cloro	No hay formación de AOX	Necesidad de empleo de agentes quelantes Q para secuestrar los metales pesados de transición
6.2.6.	PK, PS	Cierre de circuitos en la planta de blanqueo	Cierre total o parcial de los circuitos de las plantas de blanqueo	Disminución de la cantidad de sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados en el efluente de la fábrica	El cierre total de los circuitos podría aumentar el consumo de productos químicos de blanqueo y provocar precipitaciones de oxalato cálcico
6.4.3.	PK, PS	Eliminación de agentes quelantes	Técnicas que permiten una mayor recuperación de "Q": Tratamiento biológico con o sin lodos activos, o uso de membranas para el tratamiento de estos efluentes	Recuperación de agentes quelantes	Ninguna
6.2.7.	PR	Clarificación de aguas del proceso de destintado por flotación con aire disuelto	El reciclado de las aguas blancas procedentes de una planta de papel recuperado con destintado tan sólo es posible con un sistema previo de clarificación de dichas aguas. La mejor técnica disponible hoy en día consiste en la flotación con aire disuelto (DAF)	Eliminación de sólidos suspendidos y materia disuelta coloidal	Ninguna si se efectúa de forma controlada
6.2.8.	PR	Tratamiento interno de aguas mediante el uso de membranas de filtración y reciclado del agua de proceso	La filtración con membranas de las aguas blancas de una planta de papel recuperado con destintado. La filtración convencional no puede eliminar eficazmente los sólidos y materia coloidal por debajo de 1 microm de tamaño. (Las soluciones son la floculación y la filtración con membranas)	Eliminación de sólidos suspendidos y materia disuelta coloidal	Ninguna si se efectúa de forma controlada
6.4.5.	PM, PK, PS	Birreactor de membrana	Se trata de un proceso combinado de separación y oxidación. Consiste en una intensa oxidación biológica que persigue la descomposición de la materia orgánica y en la separación de sólidos y líquidos por medio de una membrana	Reducción de la carga contaminante.	Ninguna

PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL 2: EMISIONES A LA ATMÓSFERA (FABRICACIÓN DE PASTAS)

N°	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.3.13.	PM	Control de emisiones del parque de madera	Control de las emisiones del parque de madera., Riego de la madera con agua	Reducción de emisiones a la atmósfera	Ninguna
6.3.14.	PK, PS	Incremento en la concentración de lejías negras	Proceso extra de evaporación de las lejías negras. Utilización de superconcentradores que permiten obtener un contenido en sólidos de lejía negra de hasta el 80%	Baja emisión de SO ₂ en la caldera de recuperación. Mayor energía generada en la caldera de recuperación. Permite aumentar la capacidad de producción	Requiere una mayor capacidad en la planta de evaporación.
6.2.10.	PK, PS	Depuración por lavado de los gases de la caldera	Stripping de condensados, técnica de separación de los condensados limpios de los gases no condensables (NCG)	Reducción de la emisión de TRS (gases malolientes) a la atmósfera, así como de DQO en las emisiones al agua	Ninguna
6.2.11.	PK, PS	Depuración y reutilización de los condensados de la planta de evaporación	Los condensados contaminados procedentes de la evaporación y cocción, juntamente con lejías débiles procedente de reboses y pérdidas en el circuito de fabricación, son susceptibles de ser tratados en un stripper, en el que se consigue separar condensados limpios de los gases no condensables	Reducción de la emisión de compuestos TRS, los malos olores y las emisiones de COV Ahorro de agua fresca por reutilización de los condensados	Ninguna
6.2.12.	PK, PS	Tratamiento de los gases de calderas y hornos con un precipitador electrostático	Utilización de precipitadores electrostáticos para la reducción de emisiones de partículas.	Reducción de las emisiones de partículas, recuperación de reactivos como cenizas volantes.	Ninguna
6.4.4.	PK,PS	Reducción selectiva no catalítica "SNCR"	Reducción de las emisiones de Nox mediante reducción selectiva no catalítica	Reducción de emisiones de NO _x	Ninguna
6.3.15.	PK	Mejora en el lavado de los lodos de caustificación	Lavado de los lodos con el fin de recuperar la mayor parte de los productos químicos que contiene	Reducción de la emisión de TRS y SO _x a la atmósfera	Ninguna
6.2.13.	PS.	Mejora en la preparación de pasta para disminuir el consumo de energía y emisiones	Diseño de circuitos y selección de equipos adecuados para lograr menores consumos energéticos	Ahorro energético Disminución de las emisiones a la atmósfera Mejora de la calidad del papel fabricado Aprovechamiento de diferentes tipos de rechazos generados	Ninguna
6.2.14.	PR	Aplicación de cogeneración de vapor y energía	Cogeneración conjunta de calor y electricidad	Incremento de la eficiencia energética global de proceso Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 3: RESIDUOS SÓLIDOS / LODOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.18.	PM	Instalación de calderas de lecho fluidizado para incineración de fangos	Tecnología de gran versatilidad y eficiencia que conlleva menores emisiones de compuestos volátiles a la atmósfera	Reducción de emisiones de NO _x	Ninguna
6.3.17.	PM	Minimización de pérdidas de rechazos en fábricas de pasta mecánica	Utilización de sistemas de depuración y refinado que permiten un mayor aprovechamiento de las materias primas	Reducción de la pérdida de fibras y menor generación de rechazos sólidos	Ninguna
6.3.1.	PM, PK, PS	Descortezado en seco	Técnicas de descortezado de los troncos en seco.	Se reduce en caudal de agua disminuyendo la DQO y los sólidos totales disueltos (TDS). Mayor generación de energía en las calderas de cortezas	Ninguna
6.3.19.	PR	Recogida separada de los materiales no fibrosos	Separación de alambres, plásticos, etc. que acompañan al papel recuperado	Almacenamiento por separado de estos residuos	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 4: ENERGÍA (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.14.	PM, PR	Aplicación de la cogeneración de vapor y energía	Cogeneración conjunta de calor y electricidad	Incremento de la eficiencia energética global de proceso Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero	Ninguna
6.2.13.	PS	Mejora en la preparación de pasta para disminuir el consumo de energía y emisiones	Diseño de circuitos y selección de equipos adecuados para lograr menores consumos energéticos	Ahorro energético	Ninguna
6.3.23.	PR	Actualización del diseño de las instalaciones de una planta de papel recuperado	Actualización del diseño de las instalaciones con el objetivo de disminuir los consumos energéticos	Reducción del consumo de energía	Ninguna
6.3.6.	PK, PS	Cocción modificada extendida	Obtención de pastas con menor contenido de lignina y más fáciles de blanquear	Aumento de la cantidad de sustancias orgánicas que se envían a la caldera de recuperación. Reducción de AOX y DQO. Disminución del consumo de productos químicos de blanqueo	Mayor generación de energía
6.2.3.	PK, PS	Deslignificación con oxígeno	Tratamiento con oxígeno para la eliminación de la lignina residual	Menor generación de AOX y DQO residuales en la planta de blanqueo	Mayor generación de energía
6.4.1.	PM	Nuevos procesos de pasta TMP energéticamente eficientes	Técnicas RTS y Thermoplus®, consumen sustancialmente menos energía que los procesos habituales de pasta TMP	Ahorro de energía	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 5: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.9.	Gestión óptima del agua. Reducción del consumo de agua fresca mediante la separación de circuitos de agua y flujo en contracorriente	Cierre de circuitos La separación de aguas y el empleo de intercambiadores o torres de refrigeración permite su reutilización	Reducir el consumo de agua fresca Disminución de vertidos líquidos: <ul style="list-style-type: none"> • Aguas de refrigeración, cierres y sistemas de vacío • Aguas blancas de drenaje • Aguas clarificadas de espesado a filtrado 	Ninguna si se efectúa de forma controlada; si no efectúa de manera controlada, disminución de la eficiencia de la instalación Conviene instalar algún tipo de microfiltro para eliminar los sólidos. Es igualmente posible diseñar lazos cerrados para el agua de sellado de las bombas de vacío, incorporando enfriadores y filtros para separar los sólidos
6.3.9.	Reducción de la pérdida de fibras y cargas minerales	Utilización de filtros de discos o unidades de flotación para la recuperación de cargas y finos	Recuperación de cargas y finos en la máquina de papel	Ninguna; puede haber una cierta limitación debido a la falta de espacio
6.3.10.	Recuperación y reciclaje de productos de estucado contenidos en los efluentes	Se utiliza la ultrafiltración para separar los compuestos de estucado mediante el uso de una membrana semipermeable.	Reducción de las emisiones al agua y cantidad de residuos. Reducción del consumo de agua, puesto que el permeado puede ser reutilizado.	Ninguna
6.3.11.	Pretratamiento independiente de las aguas residuales de las operaciones de estucado	Se lleva a cabo una precipitación química y floculación. Las instalaciones nuevas prefieren un sistema de ultrafiltración puesto que ofrecen normalmente un periodo más corto de amortización	Beneficio operacional en la planta de tratamiento de aguas residuales.	Ninguna
6.3.12.	Sustitución de sustancias potencialmente nocivas por alternativas menos contaminantes	Eliminación de esas sustancias después del tratamiento de vertidos. Empleo de productos alternativos no tóxicos y biodegradables Ejemplo: sustitución de colas de colofonía y del sulfato sódico que se han utilizado para el encolado interno de los papeles, por colas sintéticas (dímeros de alquil centeno) evitando las variaciones fuertes del pH que se producían	Mayor eficiencia en el tratamiento de residuos y, por tanto, menor impacto ambiental	Ninguna
6.3.21.	Eliminación de vertidos accidentales u ocasionales	Medidas preventivas y formación del personal para el caso de producirse vertidos accidentales	Evitar en la medida de lo posible vertidos accidentales y minimizar sus consecuencias	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 6: ATMÓSFERA (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.14.	Aplicación de cogeneración de vapor y energía	Los requerimientos de energía, y el ratio de calor-energía en la industria del papel, así como la regularidad de operación a lo largo del año hacen muy apropiado el uso de técnicas de cogeneración	Las emisiones por unidad de calor o energía generada bajan considerablemente como consecuencia de la mayor eficiencia energética	Ninguna
6.3.16.	Uso de combustibles pobres en azufre o combustibles renovables	Utilización de combustibles alternativos como gas natural. Utilización de combustibles renovables como la madera o residuos de madera	Disminución de las emisiones de CO ₂ a la atmósfera	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 7: RESIDUOS SÓLIDOS /LODOS (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.15.	Optimización del desgote en la sección de prensas de la máquina de papel	Optimización del drenaje y retención en el sistema de la máquina de papel	Ahorro de energía calorífica a la hora de conseguir la sequedad del papel	Ninguna
6.3.9.	Reducción de pérdidas de fibras y cargas minerales en la máquina de papel	Instalación de filtros de discos o unidades de microfiltración	Mejora la eficiencia en la separación de fibras y cargas frente a los métodos convencionales (tanques de sedimentación)	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 8: ENERGÍA (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
6.2.14.	Aplicación de Cogeneración de vapor y energía	Cogeneración conjunta de calor y electricidad	Incremento de la eficiencia energética global de proceso Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Ninguna
6.3.20.	Uso de tecnologías energéticamente eficientes	Tecnologías energéticamente eficientes como por ejemplo mejores prácticas de refinado y pasteado, formación de doble tela en la máquina de papel, sistemas de vacío optimizados, variadores de velocidad para ventiladores, bombas, motores eléctricos de alto rendimiento, recuperación de vapor condensado, aumento de la concentración de sólidos sisl-press (prensa encoladora), sistemas de recuperación de calor, etc.	Optimización del consumo energético.	La implementación de alguna de estas técnicas solamente sería posible en una reconstrucción de la planta o en su caso, en una parada para reemplazar los equipos

7. TRATAMIENTOS FINALISTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TFMC'S)

Los tratamientos finalistas propuestos en este capítulo tienen como objeto adecuar la composición (humedad, toxicidad, materia orgánica, etc.) de los residuos ya no aprovechables por la industria, al medio receptor. De esta manera se minimiza el impacto ambiental producido por los residuos en los diferentes vectores del medio (aire, agua y suelo).

La prevención integrada de la contaminación se logra aplicando de manera eficiente las Alternativas de Prevención en Origen de la Contaminación (APOC's), presentadas en el capítulo anterior, y los tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's), en los casos que sea necesario.

7.1. SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS FINALISTAS SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO

En este apartado, la presentación de los tratamientos se basa en los procesos productivos más significativos del sector de la pasta y el papel, así mismo se han elaborado cinco tablas correspondientes a:

- Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la producción de pasta mecánica y su impacto ambiental (tabla 7.1.1).
- Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la producción de pasta al sulfito y su impacto ambiental (tabla 7.1.2).
- Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la producción de pasta Kraft y su impacto ambiental (tabla 7.1.3).
- Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la producción de pasta de papel a partir de papel recuperado y su impacto ambiental (tabla 7.1.4).
- Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la producción de papel y su impacto ambiental (tabla 7.1.5).

En las filas se recogen las técnicas disponibles, para las cuales se destacan los efectos que producirían en los niveles de consumos de recursos y emisiones (columnas). Los efectos de cada alternativa se indican cualitativamente usando flechas (↑ ó ↓). Las flechas hacia abajo indican una reducción del consumo de productos químicos, agua o energía, así como una reducción en la carga contaminante de emisiones, residuos y/o vertidos. Por el contrario, las flechas hacia arriba indican un incremento en la generación de contaminantes, en el consumo de recursos o una mejora del proceso de producción.

La información mostrada en la tabla, respecto a los efectos en los consumos y emisiones según la alternativa, no se debe considerar una información imperativa, si no como un punto de partida para conocer una posible fuente de contaminación. Además los efectos dependerán de las condiciones específicas de cada fábrica.

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la fabricación de pasta mecánica

Tabla 7.1.1. TFMC's en la producción de pasta mecánica y su impacto ambiental

TFMC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
7.2.2. Tratamiento biológico del agua residual	↑	↑	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	↑ lodos	↑
7.3.1. Tratamiento primario del agua residual	n.e.	n.e.	↓ Sólidos en suspensión ↓ Nutrientes ↓ DQO	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.3.3. Tratamiento terciario del agua residual	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ Materia Orgánica	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.4.1. Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración	Se ha de considerar la generación empleando oxígeno en lugar de aire	↑ E	↓ Color ↓ DQO ↓ AOX	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.2.6. Minimización de residuos a vertedero	n.e.	↓ E incineración ↑ E deshidratación	n.e.	↑	↓	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la fabricación de pasta al sulfito

Tabla 7.1.2. TFMC's en la producción de pasta al sulfito y su impacto ambiental

TFMC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
7.3.1. Tratamiento primario del agua residual	n.e.	n.e.	↓ Sólidos en suspensión ↓ Nutrientes ↓ DQO	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.2.2. Tratamiento biológico del agua residual	↑	↑	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.4.1. Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración	Se ha de considerar la generación empleando oxígeno en lugar de aire	↑	↓ Color ↓ DQO ↓ AOX	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.2.2. Captación y tratamiento de los gases malolientes	n.e.	↑ E sistema de captación y transporte	n.e.	↓ TRS ↑ NO _x ↓ olor	n.e.	↑ producción de energía (recuperación de calor)
7.2.4. Instalación de quemadores de baja emisión de NO _x	n.e.	n.e.	n.e.	↓ NO _x	n.e.	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la fabricación de pasta Kraft

Tabla 7.1.3. TFMC's en la producción de pasta Kraft y su impacto ambiental

TFMC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Observaciones
7.2.2. Tratamiento biológico del agua residual	↑	↑	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	↑ lodos	Tratamiento de lodos biológicos
7.3.1. Tratamiento primario del agua residual	n.e.	n.e.	↓ Sólidos en suspensión ↓ Nutrientes ↓ DQO	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.3.3. Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ Materia Orgánica	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.4.1. Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración	Se ha de considerar la generación de ozono empleando oxígeno en lugar de aire	↑ E	↓ Color ↓ DQO ↓ AOX	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.2.2. Captación y tratamiento de los gases malolientes	n.e.	↑ E sistema de captación y transporte	n.e.	↓ TRS ↑ NO _x ↓ olor	n.e.	↑ producción de energía (recuperación de calor)
7.2.4. Instalación de quemadores de baja emisión de NO _x	n.e.	n.e.	n.e.	↓ NO _x	n.e.	--

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la fabricación de pasta de papel a partir de papel recuperado

Tabla 7.1.4. TFMC's en la producción de pasta de papel recuperado y su impacto ambiental

TFMC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Aplicabilidad
7.3.1. Tratamiento primario del agua residual	n.e.	n.e.	↓ Sólidos en suspensión ↓ Nutrientes ↓ DQO	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.3.2. Tratamiento anaerobio como primera etapa del tratamiento aerobio	n.e.	↓ E Producción de biogás	↓ DQO ↓ DBO	↓	↓ Lodos	MTD para calidades marrones Facilita el tratamiento aerobio
7.2.2. Tratamiento biológico del agua residual	↑	↑	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	↑ lodos	↑
7.2.7. Tratamiento in situ de rechazos y lodos: desgote	↑	↑	↑ Caudal de la planta de tratamiento de aguas residuales ↑ la carga contaminante	n.e.	↓ lodos	En todos los grados de contaminación

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones; MTD: Mejores Técnicas Disponibles.

Tratamientos finalistas para la minimización de la contaminación (TFMC's) en la fabricación de papel

Tabla 7.1.5. TFMC's en la producción papel y su impacto ambiental

TFMC	Efectos sobre los niveles de emisión y consumo (efectos cruzados)					
	Consumo de productos químicos	Consumo de energía (E) y agua (A)	Efluentes de aguas residuales	Emisiones atmosféricas	Residuos sólidos	Aplicabilidad
7.2.2. Tratamiento biológico del agua residual	↑	↑	↓ DBO ↓ DQO ↓ AOX	↑ olor	↑ lodos	↑
7.3.3. Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química	↑	↑	↓ N ↓ P ↓ Materia Orgánica	n.e.	↑ lodos	Tratamiento de lodos
7.3.4. Control de las desventajas potenciales del cierre del circuito de agua	↑	↓ A	↓	n.e.	n.e.	Permite reducir el consumo de agua fresca. En todos los grados de contaminación
7.2.4. Instalación de quemadores de bajas emisiones de NOx	n.e.	n.e.	n.e.	↓	n.e.	En todos los grados de contaminación
7.2.5. Reducción del ruido exterior	n.e.	n.e.	n.e.	↓ Ruido	n.e.	En todos los grados de contaminación
7.2.7. Tratamiento in situ de rechazos y lodos: desgote	↑	↑ E	n.e.	n.e.	↓ volumen	En todos los grados de contaminación
7.2.8. Combustión de lodos de destintado	n.e.	↑↓	n.e.	↑↓	↓	Recuperación de E (vapor)

↑ = aumento; ↓ = descenso; n.e. = no (o despreciable) efecto; (↑/↓) = puede o no producir efecto, el impacto depende de las condiciones.

7.2. FICHAS DE LOS TRATAMIENTOS FINALISTAS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TFMC'S) SELECCIONADOS

Tratamiento finalista para la minimización de la contaminación (TFMC)	7.2.1. FICHA TEÓRICA
Proceso	Proceso productivo en el cual es aplicable la TFMC.
Etapa / Operación	Etapa o operación que se modifica, se incluye o se elimina para conseguir la implantación de la TFMC.
Problemática medioambiental	Afecciones más importantes sobre el medio ambiente que se realizan con el proceso productivo original, éstas se minimizan o disminuyen con la aplicación de la TFMC.
Beneficios potenciales de la APOC	Principales ventajas que se obtienen con la aplicación de la TFMC.
Descripción	Bases científicas y tecnológicas en las que se basa la TFMC, y descripción de su funcionamiento.
Procedimiento	Descripción de la/s técnica/s más utilizadas para la integración de la TFMC en el proceso productivo.
Comentarios	Información adicional complementaria de los apartados anteriores
Aspectos económicos	Siempre que sea posible, se realizará una orientación económica de los costes de implantación y funcionamiento de las TFMC's. Los datos que se presentan se han tomado del documento de referencia: BREF, Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry (2001).

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL
Proceso	Producción de pasta y papel.
Etapa / Operación	Plantas de producción de pasta y papel.
Problemática medioambiental	Aguas residuales con un elevado contenido en compuestos orgánicos.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Reducción de la carga orgánica de los vertidos de la planta.
Descripción	<p>Es una tecnología muy utilizada desde la década de los ochenta para eliminar la materia orgánica degradable presente en las aguas residuales de las plantas de pasta y papel. En la mayoría de los casos se utilizan tratamientos aerobios. En algunos casos específicos, como por ejemplo en plantas de producción de pasta o plantas de papel recuperado de embalaje, se utiliza un tratamiento anaerobio, como etapa previa (6.3.9.). La selección de una técnica u otra depende fundamentalmente de la carga contaminante de las aguas a tratar.</p>

Figura 7.2.1. Principales procesos de tratamiento externo de aguas residuales de una fábrica de papel y los rangos de aplicación convenientes (HCR: High performance compact reactor).

	<p><u>Lagunas aireadas</u></p> <p>Se aplican a aguas con una concentración de DQO superior a 300 mg/L. Requieren grandes superficies para tener un elevado tiempo de residencia del agua residual (3 y 20 días). La concentración de microorganismos es baja (100-300 mg/L) por lo que la eficacia del tratamiento es baja. Los aireadores superficiales de turbina son las unidades más comunes para la aireación, también son utilizados aireadores de fondo con alimentación de aire inducido o comprimido. El equipo de aireación permite la mezcla requerida para mantener los sólidos en suspensión y la actividad microbiológica.</p> <p>Eficacias típicas de eliminación de contaminantes, para un tiempo de residencia entre 15 y 30 días, son: 40-85% para la DBO₅, 30-60% para la DQO y 20-45% para los AOX. No se produce eliminación de nitrógeno ni fósforo.</p> <p>El lodo o sedimento precipitado se retira con una frecuencia de 1 a 10 años.</p> <p>Prácticamente ya no se instalan debido a la gran demanda de espacio, a la baja eficacia que presentan, el pobre rendimiento energético en la aireación y en la mezcla, la aparición de nieblas, problemas de espumas y olores en el efluente final, etc.</p> <p><u>Fangos activos</u></p> <p>Es el proceso más utilizado. Se aplica a aguas con una concentración de DQO superior a 300 mg/L. Las ventajas del proceso son los elevados rendimientos que se consiguen, las posibilidades de controlar el proceso (particularmente el consumo de oxígeno) y el requerimiento relativamente pequeño de espacio.</p> <p>Los valores típicos de reducción de contaminantes son: 85-99% de BOD₅, 60-90% de DQO, 40-65% de AOX, 40-85% de fósforo y 20-50% de nitrógeno. La eficacia de eliminación de sólidos en suspensión que se consigue con un tratamiento completo de las aguas residuales (tratamiento primario y secundario) es del 85-90%.</p> <p>Las desventajas son la vulnerabilidad relativamente alta a alteraciones que conduce a una inestabilidad operacional del sistema, la elevada producción de fangos biológicos y los altos costes de operación.</p> <p>Existen alternativas al tratamiento de fangos activos, más compactas y menos costosas, aunque la experiencia de tales instalaciones es más limitada.</p>																		
<p>Procedimiento</p>	<p>El sistema de fangos activos consta de un reactor con fangos activos donde se produce la degradación de la materia orgánica y de un clarificador para separar el fango de las aguas tratadas. La mayor parte de los lodos se recirculan al reactor para mantener una elevada concentración de microorganismos, por lo que el tiempo de residencia del agua residual en el reactor es baja (15-48 h). La oxigenación y la mezcla en el reactor biológico se consiguen mediante equipos mecánicos de aireación. Los equipos más utilizados son los aireadores de superficie, las turbinas sumergidas y, con soplantes y compresores de aire, los aireadores de burbuja fina y los aireadores jet.</p> <p>El exceso de lodos se retira mediante purga (0,3-0,6 kg de lodos/kg de DBO₅ eliminada en función de la carga de microorganismos y de contaminantes). Los lodos obtenidos son espesados y desgotados. Cuando es posible los lodos se queman en las calderas auxiliares de cortezas y si no deben de ser adecuadamente evacuados a vertederos controlados.</p>																		
<p>Comentarios / Ejemplos de aplicación</p>	<p>Tabla 7.2.1. Concentraciones (mg/L) del efluente después de un tratamiento biológico de fangos activos para distintos tipos de plantas.</p> <table border="1" data-bbox="470 1601 1428 1742"> <thead> <tr> <th>Planta</th> <th>DBO₅</th> <th>DQO</th> <th>TSS</th> <th>P total</th> <th>N total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pasta kraft</td> <td>20-40</td> <td>300-500</td> <td>20-40</td> <td>0,2-0,4</td> <td>2-4</td> </tr> <tr> <td>Papel</td> <td>5-20</td> <td>< 230</td> <td>< 30</td> <td>< 1</td> <td>< 10</td> </tr> </tbody> </table> <p>El consumo de energía para la eliminación de 1kg de DBO₅ varía de 0,3 a 3 kWh en función del oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica y de la carga de microorganismos del sistema. Sistemas de alta carga con un óptimo diseño y funcionamiento de la planta, permiten mantener los consumos por debajo de 1kWh/kg DBO₅ eliminada.</p> <p>El contenido de nutrientes en el agua residual de las plantas de papel es generalmente bajo, por lo que es necesaria la adición controlada de fósforo y nitrógeno.</p> <p>Para controlar los problemas de eutrofización en los cauces de vertido, debe evitarse la sobre-dosificación de nutrientes, así como las emisiones accidentales de nutrientes. Este es un caso típico de plantas CTMP.</p>	Planta	DBO ₅	DQO	TSS	P total	N total	Pasta kraft	20-40	300-500	20-40	0,2-0,4	2-4	Papel	5-20	< 230	< 30	< 1	< 10
Planta	DBO ₅	DQO	TSS	P total	N total														
Pasta kraft	20-40	300-500	20-40	0,2-0,4	2-4														
Papel	5-20	< 230	< 30	< 1	< 10														

	<p>En ocasiones se pueden producir problemas de separación de fangos en el sedimentador secundario, debido a la formación de lodos voluminosos (bulking). Estos problemas se deben a la formación de bacterias filamentosas o al elevado grado de retención de agua de los flocúlos de fangos, que dificultan su sedimentación. Las principales causas del desarrollo de fangos filamentosos son las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque de aireación, falta de nutrientes, baja relación DBO/microorganismos y gradiente de DBO soluble insuficiente. Las principales causas del "bulking" no filamentoso, son la excesiva aireación y la presencia de materia tóxica para las bacterias, esta causa puede presentarse en las aguas procedentes del blanqueo, en la que gran parte de los agentes empleados son biocidas, y las aguas procedentes de la fabricación de papel, si no se seleccionan adecuadamente los agentes de control de las bacterias en el circuito de las aguas blancas.</p> <p>Para evitar que se produzcan malos olores cuando las temperaturas son altas se deben de optimizar las condiciones del proceso, evitando condiciones anoxicas en el fondo de los sedimentadotes y en los espesadores de fangos.</p> <p>En algunas ocasiones (fábricas de cartón y papeles) se recicla parte del efluente del tratamiento biológico a las aguas de proceso de la planta, para ello es necesaria una filtración previa del mismo, por ejemplo en un filtro de arena.</p>
<p>Aspectos económicos</p>	<p><u>Lagunas aireadas</u></p> <p>El coste de esta técnica es en función de dónde y cómo se quiera construir la laguna. El coste de inversión varía bastante, se suele encontrar entre 16- 20 Meuros para una fábrica de pasta kraft con una producción de 1.500 t/d, este coste cubre también el tratamiento primario y la deshidratación del fango. El coste de operación corresponde a 1.3-1.7 Meuros/a, el cual corresponde mayoritariamente al coste de energía eléctrica, requerida para conseguir las condiciones de oxigenación y mezcla en la laguna.</p> <p><u>Fangos activos</u></p> <p>La inversión de una planta nueva de tratamiento de fangos activos es, aproximadamente, de 19-24 Meuros para una fábrica de pasta kraft con una producción de 1.500 t/d. Esta inversión también incluye el tratamiento primario y el posterior tratamiento de los lodos de purga. El coste de operación es de 2,0 a 2,6 Meuros/a.</p> <p>Para una fábrica integrada de pasta mecánica de 1.000 t/d la inversión es de, aproximadamente, 13-16 Meuros, incluyendo el tratamiento primario y el sistema de lodos activos. Los gastos de operación correspondientes son de 1,2-1,5 Meuros/a.</p> <p>La inversión estimada para una planta de tratamiento de aguas por lodos activos en una fábrica de papel de impresión de 200t/d es de 2Meuros y para una planta de cartón de 100t/d de 1,5 Meuros. El coste anual de operación se estima entre 300 y 600 Euros/kg DQO eliminada al día.</p>
<p>Figura 7.2.2. Tratamiento Biológico de aguas residuales con lodos activos</p>	

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.3. CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE GASES MALOLIENTES
Proceso	Producción de pasta química.
Etapa / Operación	<p>Gases de alto volumen y baja concentración (4 kg S/t de pasta). Se forman en el trasiego de lejías y de pasta sin blanquear.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rechazos de nudos, depósitos de drenaje de nudos y tanque auxiliar. • Tanque de soplado y depósitos de almacenamiento de pasta. • Lavadores, tanque de filtrados y tamices. • Deslignificación con oxígeno. <p>Gases de bajo volumen y alta concentración (0.5 kg S/t de pasta). Se forman en el proceso de cocción y evaporación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de evaporación de lejías negras. • Depósitos flash. • Tanque de soplado. • Vaporización de astillas, cuando no se emplea vapor vivo. • Acumulador del recuperador de calor del soplado. • Incondensados de alivio de condensadores. • Unidad de prehidrólisis. • Pozo barométrico o depósito de acumulación de condensados.
Problemática medioambiental	Emisión de TRS.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Reducción de las emisiones de TRS en más de un 90%.
Descripción	<p>Esta alternativa se puede aplicar a los gases de baja y/o de alta concentración, pero se debe mantener los circuitos separados.</p> <p>Captación por aspiración de los gases.</p> <p>Conducción hasta los sistemas de eliminación.</p> <p>Tratamiento de los gases por incineración. En el caso de gases de baja concentración también se puede llevar a cabo un lavado de los mismos.</p>
Procedimiento	<p>Los gases son captados y conducidos hasta los sistemas de tratamiento en un circuito, que cumple los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ha de mantenerse una presión negativa en todos los puntos abiertos. • Ha de disponer de un sistema de válvulas para cerrar los puntos de captación cuando no se encuentren en operación. • Ha de disponer de líneas de by-pass con indicadores de flujo, para evacuación de los gases a chimenea. • Ha de disponer de válvulas de seguridad en los by-pass. • La concentración de compuestos inflamables ha de mantenerse por debajo del límite inferior de explosión. Este aspecto es especialmente importante para el circuito de gases de bajo volumen y alta concentración. <p>Posteriormente los gases se tratan por incineración en la caldera de recuperación, en el horno de cal equipado con un lavador de SO₂, o en un incinerador auxiliar equipado con un lavador de SO₂. Como alternativa a la incineración de los gases se puede llevar a cabo un lavado alcalino u oxidante de los mismos, especialmente en el caso de gases diluidos.</p>

<p>Comentarios / Ejemplos de aplicación</p>	<p>Esta alternativa se aplica a plantas nuevas y plantas ya existentes. En este último caso la aplicación depende de los costes de adaptación para la captación de los gases y su traslado hasta el sistema de tratamiento.</p> <p>Las plantas que trabajan con digestores continuos y lavadores con difusores en vez de lavadores a presión producen una cantidad menor de gases de baja concentración.</p> <p>La conversión térmica de los gases incondensados requiere un correcto control de las condiciones de operación del horno: temperatura de combustión, flujos de gases y tiempos de residencia de los gases.</p> <p>Los problemas que plantea son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de la temperatura y del tiempo de residencia: se establece que un tiempo de residencia de 0,75 segundos, a una temperatura de 875 °C, son suficientes para la conversión total de los TSR. • Emisión de TSR intratados: las condiciones de flujo debe evitar caminos preferentes y retromezcla en el horno. • Retornos accidentales de gases del horno por los conductos de alimentación de los gases malolientes: instalación de válvulas antirretorno y apagadores de llama. • Aumento de la concentración de SO₂. • Presencia de SO₃ por oxidación del 5 al 10% del SO₂ formado, que muestra tendencia a la formación de nieblas. <p>Los gases del horno deben depurarse de partículas y de SO₂.</p> <p>De la aplicación de esta técnica se pueden obtener efectos cruzados como son el aumento en la emisión de SO₂ y NO_x en los gases de combustión si no se toman las medidas adecuadas y el aumento en el consumo de energía en la aspiración de gases.</p> <p>Otra alternativa en fase de desarrollo para el tratamiento de los gases de baja concentración es mezclarlos con los gases que provienen de los lavadores de blanqueo. Los gases resultantes pasan al lavador alcalino del blanqueo.</p> <p>La propuesta supone coste cero de reactivos, siempre que la instalación disponga de blanqueo con dióxido de cloro, y de lavado alcalino de los gases de blanqueo con capacidad suficiente para recibir los gases con compuestos de azufre.</p> <p align="center">Tabla 7.2.2. Relaciones molares necesarias para la oxidación de los TRS's</p> <table border="1" data-bbox="592 1223 1241 1480"> <thead> <tr> <th>Compuesto</th> <th>Moles de ClO₂/mol de compuesto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H₂S</td> <td>8:1</td> </tr> <tr> <td>CH₃SH</td> <td>2:1</td> </tr> <tr> <td>(CH₃)₂S</td> <td>1:1</td> </tr> <tr> <td>(CH₃S)₂</td> <td>1:1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los estudios realizados por Paprican han dado reducciones de emisión entre el 75 y el 79%, con concentraciones de salida por debajo de 3 ppm en TRS.</p>	Compuesto	Moles de ClO ₂ /mol de compuesto	H ₂ S	8:1	CH ₃ SH	2:1	(CH ₃) ₂ S	1:1	(CH ₃ S) ₂	1:1
Compuesto	Moles de ClO ₂ /mol de compuesto										
H ₂ S	8:1										
CH ₃ SH	2:1										
(CH ₃) ₂ S	1:1										
(CH ₃ S) ₂	1:1										
<p>Aspectos económicos</p>	<p>Se estima que la inversión de esta alternativa considerando la captación y el tratamiento de los gases para una planta de 1500 t/d de pasta es de:</p> <p>Incineración en la caldera de recuperación: 3,6-4,5 Meuros.</p> <p>Incineración en el horno de cal con lavador: 4-5 Meuros para plantas nuevas y de 5-8 Meuros para plantas ya existentes.</p> <p>Incineración en un horno auxiliar con lavador: 7-8 Meuros para plantas nuevas y de 8-11 Meuros para plantas ya existentes.</p> <p>Los costes de operación se estiman en 0,3-0,5 Meuros/a.</p>										

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.4. INSTALACIÓN DE QUEMADORES DE BAJA EMISION DE NO _x
Proceso	Producción de pasta química.
Etapa / Operación	Calderas auxiliares de cortezas, fuel, carbón o gas natural con o sin ciclo combinado. Caldera de recuperación. Horno de cal.
Problemática medioambiental	Emisiones de óxidos de nitrógeno.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<p>Reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno. La reducción depende del tipo de caldera, del combustible utilizado y del quemador seleccionado.</p> <p>Comparado con los quemadores convencionales de las calderas auxiliares, con una emisión de 250-500 mg NO_x/MJNO_x, los quemadores de baja emisión de NO_x pueden alcanzar niveles de 120-140 mg NO_x /MJ.</p> <p>En las calderas de recuperación se estiman reducciones de NO_x del 10-25% pero los valores varían de caldera a caldera.</p> <p>Puesto que el NO_x presenta un potencial de acidificación y puede aumentar los problemas de eutrofización de las aguas superficiales, es importante controlar las emisiones de NO_x.</p>
Descripción	<p>La formación de óxidos de nitrógeno tiene lugar, salvo una pequeña proporción, en combustibles que presentan nitrógeno orgánico por combinación química entre el nitrógeno y el oxígeno del aire. Las condiciones que se deben evitar para minimizar la formación de NO_x son altas temperaturas de combustión y atmósfera oxidante.</p> <p>Las tecnologías de reducción de las emisiones de NO_x durante la combustión son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quemadores de baja emisión de NO_x (Low-NO_x burners [LNB]) con o sin aire de sobrefuego (Over Fire Air [OFA]). • Recombustión de carbón o fuel. <p>La utilización de gas natural como combustible en ciclos combinados reduce la emisión de NO_x en más de un 50% respecto a otro tipo de combustibles. Las emisiones de óxidos de nitrógeno en ciclos combinados se controlan mediante el uso de quemadores de bajo NO_x sin inyección de agua, cuando se quema gas natural. En caso de utilizar el combustible secundario en situaciones de emergencia (gasóleo), dichas emisiones se controlarán mediante la inyección de agua o vapor en la cámara de combustión de las turbinas de gas.</p> <p>La tecnología de recombustión consiste, en su primera etapa, en la inyección del carbón o fuel con aire primario, en proporciones inferiores a las estequiométricas, creando una zona reductora de baja formación de NO_x. En la siguiente etapa de la combustión se introduce aire secundario y terciario para completar la combustión del carbón con menos de un 3% de inquemados en las cenizas. Según la geometría de la cámara de combustión se puede ampliar la zona de recombustión mediante la inyección de aire por toberas laterales, situadas en las paredes refractarias de la cámara de combustión, con el objetivo de obtener concentraciones de NO_x inferiores a 100 ppm en la zona de reducción, sin penalizar esta mejora con la formación de CO y el aumento de inquemados en las cenizas.</p>
Procedimiento	<p>En los quemadores de baja emisión de NO_x, la zona central de combustión tiene defecto en aire, de manera que la temperatura en esta zona está limitada por el defecto de aire, y la atmósfera es reductora; la combustión se completa con la introducción de aire secundario en la zona exterior de la llama.</p> <p>También se pueden aplicar quemadores con aire de sobre fuego, que a diferencia de los anteriores, cuentan además con un aire terciario entre el 10 y el 25%, que se introduce sobre la zona de llama creando una atmósfera exterior oxidante.</p>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	<p>Los quemadores de baja emisión de NO_x pueden aplicarse tanto en calderas existentes como en nuevas.</p> <p>Los quemadores LBN, reducen la emisión de óxidos de nitrógeno en una proporción comprendida entre el 30 y el 55%.</p> <p>La opción LBN +OFA, permite alcanzar reducciones de emisiones de NO_x entre el 40 y el 60% de la resultante con un quemador convencional.</p> <p>La aplicación de esta técnica presenta un efecto cruzado que es el aumento de la emisión de CO si no se controla bien.</p>
Aspectos económicos	<p>La inversión se encuentra alrededor de los 0,5-0,8 Meuros para una planta de 1.000 t/d de papel. Los costes de operación son de 0,1-0,2 Meuros/a.</p> <p>En el caso de una planta kraft de 250.000 y 500.000 t/a la inversión sería de 1,7 y 2,3 Meuros respectivamente. Los costes de operación no se verían afectados.</p>

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.5. REDUCCIÓN DEL RUIDO EXTERIOR
Proceso	Planta de pasta y/o papel.
Etapa / Operación	Digestores. Caldera de recuperación. Astilladoras. Transportadores de astillas. Tambores de descortezado. Refinadores. Maquina de papel. Secadores.
Problemática medioambiental	Generación de ruido.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Disminución de la emisión de ruido.
Descripción	Dentro de una planta de pasta o papel existen numerosas fuentes de ruido. Una vez identificados los procesos mas ruidosos, la técnica mas empleada para minimizar el ruido es el confinamiento en cabinas de insonorización, de manera que el ruido exterior se reduzca a unos límites comprendidos entre 80 y 85 dB.
Procedimiento	Confinamiento de la planta de pasta, incluido el sistema de descarga de troncos. Confinamiento de la planta de destintado. Confinamiento de la máquina de papel. Mejora en los sistemas mecánicos: transmisiones, reducciones. Utilización de soportes elásticos (silent-blocks). Como ejemplos de medidas para el control del ruido producido en la propia máquina se pueden indicar: campanas con aislamiento sonoro reforzado, instalación de silenciadores en bombas y circuitos de vacío y en los ventiladores internos y externos de extracción de vahos, etc.
Comentarios / Ejemplos de aplicación	La astilladora puede generar una elevada potencia sonora, con niveles comprendidos entre 100 y 120 dB. Mediante confinamiento con paneles acústicos, puede reducirse el ruido a los niveles de 80 dB.

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.6. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS A VERTEDEROS EN PLANTAS DE PASTA MECANICA
Proceso	Fabricación de pasta mecánica.
Etapa / Operación	Procesado de la pasta.
Problemática medioambiental	Alto contenido en humedad de los residuos, por lo que se generan lixiviados en los vertederos y se requiere mayor consumo de energía para su combustión.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	Reducción de volumen de los residuos. Recuperación de energía.
Descripción	A excepción de la corteza procedente del descortezado de la madera, los rechazos, fangos y residuos sólidos en general procedentes de fábricas de pastas mecánicas, son transportados en medio acuoso hasta la planta de tratamiento donde se retiran con un alto contenido de humedad para ser enviados posteriormente a vertedero. El prensado de estos residuos permite eliminar gran cantidad de agua de los mismos, hasta alcanzar niveles de sequedad que permitan su incineración y consecuente generación de energía.
Procedimiento	Existen diferentes equipos mecánicos para llevar a cabo esta operación: <ul style="list-style-type: none"> • Filtro de bandas. • Prensas tornillo. • Decantadores centrífugos. <p>Por lo que respecta a la incineración, existen dos opciones para la incineración de estos residuos:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Incineración junto a las cortezas en la caldera de cortezas. • Incineración separada de estos residuos. <p>Así por tanto, estos residuos son susceptibles de ser quemados solos o conjuntamente con un combustible de ayuda para producir energía (Puede verse en detalle la incineración con recuperación de energía en la alternativa 6.2.18).</p>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	<p>Se han obtenido buenos resultados de eliminación de agua de los residuos con todo tipo de prensas. En los últimos años se ha observado un incremento de las prensas tornillo, debido al mayor interés en la incineración de lodos, que requiere de sólidos más secos.</p> <p>La incineración en calderas de cortezas se está llevando a cabo en numerosas fábricas. También está altamente probada la incineración separada de los residuos, no obstante estos consumen una cantidad de combustible adicional y, normalmente, este proceso no presenta recuperación de energía.</p> <p>La técnica de combustión integrada de lodos y otros residuos, con secado previo mediante una corriente de gases de caldera, aumenta considerablemente el rendimiento térmico.</p> <p>La combustión de estos residuos produce emisiones de partículas sólidas, óxidos de nitrógeno y azufre que han de ser controlados antes de su emisión por chimenea.</p> <p>Cuando se incineran fangos, las calderas de lecho fluidizado son recomendables debido a su gran versatilidad y mayor eficiencia, con menores emisiones de compuestos volátiles a la atmósfera.</p> <p>En la caldera de lecho fluidizado las menores emisiones de NO_x se deben, principalmente, a una menor temperatura de combustión, mientras que las emisiones de SO₂ son controladas por medio de la adición de caliza o dolomita, que reacciona con el SO₂, depositándose en forma sólida con las cenizas del lecho de la caldera. La emisión de partículas debe controlarse mediante ESP, filtros de tejido o lavadores venturi.</p>
Aspectos económicos	<p>El coste de inversión para nuevos incineradores de lodos es de 5-7 Meuros; y los costes operacionales de 0,5-0,6 Meuros/a, correspondiente a una producción de pasta de 700 t/d.</p> <p>El beneficio económico, se deduce de la evaluación de la energía térmica y eléctrica generada, frente a la inversión y costes de operación.</p>

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.7. TRATAMIENTO IN SITU DE RECHAZOS Y LODOS (DESGOTE)
Proceso	Esta técnica está dirigida más bien a procesos de fabricación de papel a partir de papel recuperado, aunque el proceso de desgote es un concepto ambiental para cualquier proceso de fabricación de pasta y papel.
Etapa / Operación	Depuración de pasta, tratamiento de aguas.
Problemática medioambiental	Normalmente los rechazos procedentes de la fabricación de papel a partir de papel recuperado no presentan potencial de reciclaje y son llevados a vertederos controlados, por lo que se produce acumulación de residuos en vertederos, y generación de lixiviados.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del volumen de residuos dispuestos en vertedero. • Producción de energía de fuente renovable. <p>Dependiendo del tipo de rechazos y del sistema de desecado, el contenido en agua de los rechazos puede ser reducido entre un 40 y un 75%.</p> <p>En el caso del vertido de rechazos en vertederos, el desecado previo reduce el volumen de residuo (hasta 20 veces), y minimiza los problemas de producción de lixiviados.</p> <p>Cuando los rechazos se queman en plantas de producción de energía, o en los hornos de fabricación de cemento, la demanda de energía para la evaporación de agua en los rechazos disminuye. Esto contribuye a una mayor recuperación de energía.</p>
Descripción	<p>En los procesos de depuración de la pasta se generan rechazos y lodos que deben de ser tratados convenientemente. Los rechazos generados pueden ser del 4 al 8% del papel recuperado tratado, dependiendo de la calidad del mismo, de las etapas de depuración y de la calidad del producto final. Los rechazos se dividen en tres grupos: pesados- grandes, gruesos, y ligeros-finos. Estos rechazos no presentan potencial de reciclaje y son llevados a vertederos controlados.</p> <p>En el proceso de tratamiento de aguas residuales también se producen lodos. Los lodos del tratamiento primario se pueden reutilizar directamente en muchos casos.</p>

	<p>El exceso de lodos biológicos y lodos del tratamiento químico tienen poca facilidad para el desgote por lo que a veces se mezclan con los lodos del tratamiento primario. Si es necesario los lodos se espesan previamente, en espesadores de gravedad (hasta un 3-4%) antes del desgote. También se pueden utilizar productos químicos que produzcan la aglomeración de los mismos y faciliten la eliminación del agua.</p> <p>Los lodos biológicos se pueden reutilizar en algunos casos, como por ejemplo, en fábricas de cartón. El volumen de reutilización de lodos suele ser menor del 1% en peso seco con respecto al papel recuperado procesado. Este volumen tan pequeño puede ser utilizado como materia prima en la producción de papel sin afectar al proceso ni a la calidad del producto. En estos casos no son necesarios los procesos de desecado.</p> <p>Para la reutilización o vertido final de estos rechazos, lodos y fangos, es esencial un proceso de desecado previo, que minimice el coste del transporte.</p>
Procedimiento	<p>Para el desecado de los rechazos de elevado gramaje y rechazos gruesos, se usan distintos tipos de tamices y clasificadores para alcanzar un contenido en sólidos del 60-80%. El desecado de rechazos finos se realiza en prensas de tela o tamices vibratorios y si es necesario prensas tornillo para alcanzar un contenido en sólidos del 50-65%.</p> <p>Por lo que respecta a los lodos biológicos estos se pueden desgotar hasta un 25-50%, en función de la cantidad de fibras que tengan, en mesas de gravedad, prensas de tornillo, decantadores centrífugos y en filtros prensa.</p>
Comentarios / Ejemplos de aplicación	<p>Esta técnica puede ser aplicada tanto en fábricas nuevas como en existentes.</p> <p>El desecado de los rechazos implica un aumento del volumen de aguas residuales a tratar. Las aguas generadas tienen una composición semejante a las de proceso.</p>
Aspectos económicos	<p>Los costes de inversión para el desecado de los rechazos hasta un contenido en sólidos del 65% se encuentra alrededor de los 0,2 Meuros. El coste de mantenimiento anual es de 25.000 euros, aproximadamente. Estos costes corresponden a un tratamiento anual de rechazos de 13.000 toneladas de sustancia seca.</p> <p>La inversión necesaria para el desgote de lodos en una planta de papel destintado es de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prensa de tela: 1,5-1,8 Meuros. • Prensa de tornillo: 1,7-2,0 Meuros. • Centrífuga: 0,7-0,9 Meuros.

Alternativa de Producción Limpia (PL)	7.2.8. COMBUSTIÓN DE LODOS DE DESTINTADO
Proceso	Fabricación de papel reciclado.
Etapas / Operación	Destintado: deshidratación de los lodos deshidratados.
Problemática medioambiental	El vertido de lodos de destintado a vertedero da lugar a la acumulación de residuos y a la producción de lixiviados y gases.
Beneficios potenciales de la alternativa de PL	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de los residuos, reducción de los problemas asociados a vertederos. • Minimización del residuo. • Ocasionalmente, aprovechamiento de las cenizas.
Descripción	Combustión en lecho fluidizado, con generación de vapor y reducción selectiva no catalítica de óxidos de nitrógeno, depuración de gases mediante filtro de tejido.
Procedimiento	<p>Los lodos de destintado, con un contenido en cenizas del 47% y un contenido medio en sólidos del 55%, después de la deshidratación en filtro prensa y el secado en tambor rotativo, se destinan a combustión con generación de vapor en una caldera de lecho fluidizado. Esta tecnología puede ser aplicada a la combustión de materia de bajo poder calorífico, con mínima generación de contaminantes atmosféricos peligrosos.</p> <p>Se emplea un sistema de reducción no catalítica selectiva de óxidos con inyección de disolución acuosa de amoníaco al 19%, mediante pulverizadores periféricos situados en el lecho fluidizado o se alimenta urea sólida para disminuir las emisiones de NO_x. También se puede reducir las emisiones de SO₂ por adición de carbonato cálcico en el lecho fluidizado.</p> <p>El bajo poder calorífico de los lodos requiere precalentamiento del aire, con los gases de salida, para</p>

alcanzar una temperatura de combustión en torno a los 750 °C, que facilita la retención de los compuestos de azufre por las cenizas alcalinas, y evita la descomposición térmica de los carbonatos.

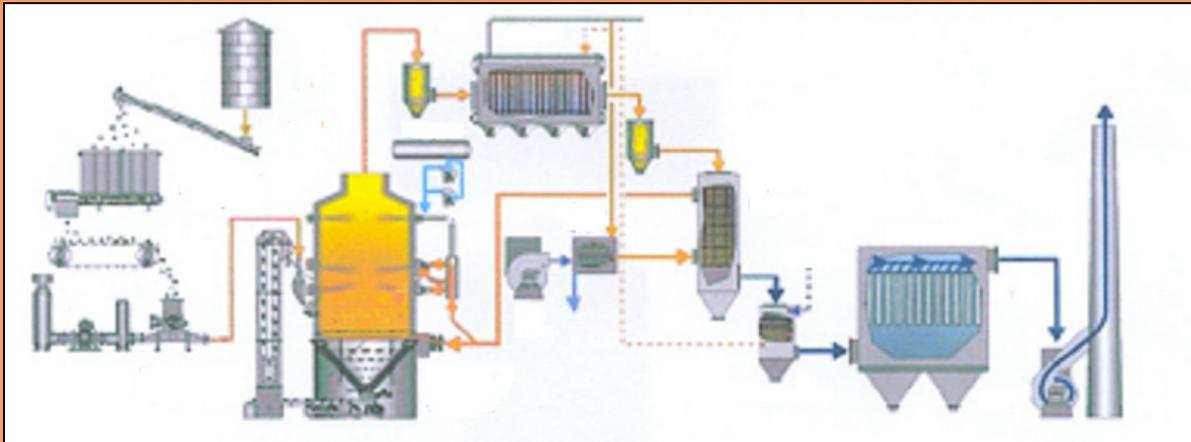


Figura 7.2.3. Esquema de proceso de combustión de lodos de destintado.

Los lodos de destintado están clasificados como fuente de energía renovable, que no incrementa la emisión de CO₂ a la atmósfera.

Los gases de combustión son depurados de partículas mediante un filtro de mangas. Las emisiones típicas son:

Tabla 7.2.3. Constituyentes típicos de los gases

Constituyente	unidad	Límite (1h)	Límite (24h)
Partículas	mg/m ³ N a 10% O ₂	30	10
SO ₂	mg/m ³ N a 11% O ₂	50	
NO _x	mg/m ³ N a 11% O ₂	200	
CO	mg/m ³ N a 10% O ₂	100	50
HCl	mg/m ³ N a 10% O ₂	30	10
HF+HBr	mg/m ³ N a 10% O ₂	2.0	
HCN	mg/m ³ N a 10% O ₂	0.5	
P ₂ O ₅	mg/m ³ N a 10% O ₂	5	
VOC	mg/m ³ N a 10% O ₂	20	10
PCB+PCDF+PCT	mg/m ³ N a 10% O ₂	0.1	
PAH	mg/m ³ N a 10% O ₂	0.05	
Metales totales	mg/m ³ N a 10% O ₂	0.5	
Cd+Hg+Tl	mg/m ³ N a 10% O ₂	0.1	
PCDD+PCDF (TEF equiv.)	ng/m ³ N a 10% O ₂	0.1	0.1

Comentarios / Ejemplos de aplicación

7.3. OTROS TRATAMIENTOS PARA LA MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (TMC's) A CONSIDERAR

7.3.1. Tratamiento primario del agua residual

Definición

Las aguas residuales de las fábricas de pasta y papel tienen un alto contenido en sólidos en suspensión (restos de cortezas, fibras, finos, cargas minerales, agentes de estucado, etc) y en sólidos coloidales y disueltos (extractivos, almidón, restos de productos químicos, adhesivos, etc).

La eliminación de sólidos en suspensión por sedimentación es una práctica muy extendida desde hace décadas. El porcentaje de eliminación de sólidos varía en función del tipo de planta, es decir en función de la cantidad de sólidos sedimentables (80% plantas Kraft, 70% en plantas de destintado, 80-95% en fábricas de papel). De forma complementaria, también se elimina materia orgánica (20% en plantas integradas y más del 80% en fábricas de papel tisú o papel de embalaje).

Otra técnica, muy utilizada en la actualidad para la eliminación de sólidos en suspensión, es la flotación con aire disuelto, que presenta eficacias de hasta el 98% (medida 6.2.7.).

Con el fin de aumentar los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión y coloidales se puede llevar a cabo un tratamiento de coagulación-floculación previo al proceso de sedimentación o flotación. Con la utilización de coagulantes (sales de aluminio y de hierro, policloruros de aluminio, poliaminas, etc) y/o floculantes (poliacrilamidas, sistemas duales con micropartículas,...), es posible provocar la desestabilización de la materia disuelta y coloidal presente en las aguas y facilitar su posterior eliminación.

En algunas ocasiones sólo se utiliza un tratamiento primario básico de tamizado, homogeneización y/o neutralización como etapa previa al tratamiento biológico con el objetivo de evitar cargas y choques excesivos y mejorar su rendimiento.

Aplicabilidad

El tratamiento primario por sedimentación o flotación está muy extendido. Sin embargo la desestabilización química de la materia en dispersión en las aguas se utiliza fundamentalmente en fábricas de papel.

Aspectos ambientales

Con esta alternativa se consigue eliminar sólidos en suspensión. Con el tratamiento de floculación se alcanzan eficacias del 97-99% en la eliminación de sólidos en suspensión, y del 70% en la eliminación de la DQO total. Sin embargo, sólo se elimina un 10% de la materia orgánica disuelta. El ratio DQO/DBO después del tratamiento primario es de 3, lo que muestra que la mayor parte de la materia orgánica eliminada es poco biodegradable y, por tanto, su eliminación favorece el tratamiento biológico posterior.

Hay que considerar que en este tratamiento se generan aproximadamente de 3 a 6 kg de lodos/m³ de agua tratada y que éstos tienen un contenido en agua del 60 al 80%. Estos lodos, difíciles de desgotar, deben ser tratados y evacuados de forma adecuada.

Aspectos económicos

La inversión necesaria para la instalación de un tratamiento físico-químico en una fábrica de papel de 100t/d es de aproximadamente 1 Meuro. La instalación incluye un tanque de homogeneización, el equipo de preparación y dosificación del producto químico, una unidad de coagulación-floculación y la unidad de clarificación.

7.3.2. Tratamiento anaerobio como primera etapa del tratamiento aerobio

Definición

En las fábricas de pasta y de cartón existen una serie de etapas específicas en las que se generan aguas residuales con un elevado contenido en materia orgánica biodegradable. Esta alternativa para el control de la contaminación se basa en el tratamiento biológico anaerobio de dichas corrientes como etapa previa al tratamiento biológico.

En las plantas de pasta química se pueden separar y tratar los condensados de la evaporación de las lejías, se considera un TMC (Tratamientos para la Minimización de la Contaminación) en pastas al sulfito. En las fábricas de CTMP no es muy utilizado porque es muy sensible a alteraciones del proceso. En fábricas de papel se considera un TMC en procesos de fabricación de "papeles marrones". También se puede aplicar a procesos de fabricación de papeles destintados.

Existen distintos reactores anaerobios que se pueden utilizar: reactor de contacto, reactor UASB, reactor de lecho fijo y reactor de lecho fluidizado. Lo más importante es mantener una elevada concentración de la biomasa en el reactor, que se consigue con la recirculación de lodos después de su sedimentación en el reactor de contacto o utilizando un medio de soporte de la biomasa en el reactor en el resto de los casos, lo que permite tratar aguas con una mayor carga orgánica. El reactor más utilizado es el UASB.

Aplicabilidad

Este tratamiento se puede integrar en plantas nuevas y en las ya existentes. Normalmente se utiliza cuando la capacidad de la planta de tratamiento aerobia ha sido superada. Se están implantando desde principios de los 90.

Si el contenido en sulfatos de las aguas a tratar es muy elevado (>1.000 mg/L) esta técnica no es aplicable porque se formaría H₂S, que es tóxico para los microorganismos anaerobios. Un contenido en sólidos en suspensión superior a 200 mg/L también puede plantear problemas en los reactores.

Aspectos medioambientales

La eficacia del tratamiento anaerobio depende del diseño de la planta y de las condiciones de operación de la misma. Valores típicos de la eficacia en la eliminación de DQO son del 60 al 85% y para la DBO del 85-95%

Este tratamiento facilita el tratamiento aerobio posterior, reduciendo el tamaño de la instalación y los costes de operación de la misma. Asimismo se reduce la producción de lodos biológicos (70-80%) y se favorece la sedimentación de los mismos.

La eficacia global de un tratamiento anaerobio + aerobio es del 95-97% de la DQO y del 99,0-99,8 de la DBO. Por lo que la carga orgánica del efluente tratado se reduce a 25-30 kgDQO/t de pasta producida y a 0,5-1,5 kgDQO/t de papel producido. El tratamiento combinado aumenta la estabilidad de la planta de tratamiento, lo que permite un mejor control de la calidad del vertido final de la fábrica.

El biogás generado (400-600 m³/t DQO eliminada), con un contenido en metano de aproximadamente 65-75%, puede ser utilizado como combustible en la propia planta después de un tratamiento de desulfuración. Se ha estimado que entre un 25-30% de la energía producida se necesita para la planta de tratamiento de aguas anaerobia+aerobia mientras que el resto se puede utilizar en otras partes del proceso de producción.

Aspectos económicos

Para que el tratamiento sea rentable, la concentración inicial de DQO en las aguas debe ser superior a 2.000 mg/L.

La inversión necesaria para un tratamiento combinado anaerobio+aerobio varía en función del volumen de agua a tratar y de la carga orgánica del agua. Para una planta que trate una carga de DQO de 20 a 35 t/d el coste de la instalación es de 7-12 Meuros.

Los costes de operación, teniendo en cuenta el aprovechamiento del biogás, son de 0,6-1,0 euros/t de papel producido.

7.3.3. Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química

Descripción

En algunos casos es necesario llevar a cabo una precipitación química para favorecer la eliminación de sólidos en suspensión y materia coloidal o, si se utiliza como tratamiento terciario, para la eliminación de nutrientes, fundamentalmente fósforo. Las sustancias orgánicas disueltas y coloidales se desestabilizan con un agente químico para producir su aglomeración y posterior separación por filtración o sedimentación. Los productos químicos usados para la precipitación son generalmente los siguientes: sales de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$, $(Al_n(OH)_mCl_{3n-m})$), sales de hierro ($FeCl_3$ y $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$), cal o polielectrolitos.

Esta medida es aplicable a plantas de nueva construcción y existentes.

Aspectos ambientales

Los resultados de estudios de la combinación del tratamiento biológico y la precipitación química, como tratamiento terciario, realizados en una planta piloto en Suecia, demuestran que se pueden alcanzar reducciones de fósforo del 80-90%, de nitrógeno del 30-60%, de DQO del 80-90% y de AOX del 80-90%.

Aspectos económicos

El coste de inversión para una fábrica de pasta kraft con una capacidad productiva de 250.000t/a es de 2,6 Meuros, y 3,8 Meuros para una fábrica con una capacidad de producción de 500.000 t/a. El coste de inversión incluye el tanque de homogeneización, el equipo de preparación y dosificación de los reactivos, unidades de precipitación, floculación y clarificador terciario.

El coste de operación del tratamiento terciario se estima en aproximadamente 50.000 Euro/a.

7.3.4. Control de las desventajas potenciales del cierre del circuito de agua de la máquina de papel

Definición

El cierre de circuitos exige conocimiento, experiencia y una adecuada acción de control del sistema de agua para evitar las desventajas que conlleva.

Como se indicó, el cierre de los circuitos produce la acumulación de sólidos en suspensión, disueltos y coloidales de naturaleza orgánica, inorgánica y microbiológica. Dependiendo de las materias primas utilizadas, del tipo de agua fresca y de los compuestos químicos utilizados, el cierre de los circuitos de agua puede presentar efectos negativos en el proceso, en la calidad del producto final e, incluso, puede resultar en un aumento de los costes de producción debido al aumento en el consumo de productos químicos. Por tanto, estos efectos potenciales negativos deben ser controlados correctamente.

En la tabla 7.3.1 se exponen las principales ventajas y desventajas de la reducción del consumo de agua:

Tabla 7.3.1. Ventajas y desventajas debido al incremento del grado de cierre de los circuitos de agua

Posibles Ventajas	Posibles Desventajas
Mejora en la retención de materia soluble en la banda de papel.	Elevadas concentraciones de materia coloidal y disuelta en los circuitos de agua.
Disminución del requerimiento de energía para calefacción y bombeo.	Riesgo de aparición de "slime" que produzca depósitos, agujeros y roturas en la hoja.
Mejores propiedades de desgote en la tela de la máquina que contribuye a una disminución del consumo de energía en la sección de secado.	Riesgo de menor calidad del producto, como blancura, resistencia, suavidad, porosidad, etc.
Menores costes de inversión al necesitarse instalaciones menores para tratamiento de aguas .	Incremento en el consumo de aditivos de proceso
Ahorro de materias primas debido a las menores pérdidas generadas.	Riesgo de corrosión (mayores concentraciones de cloruros).
Mejora de la eficacia del tratamiento de aguas residuales.	Mayor riesgo de obstrucciones de tuberías, inyectoros de los rociadores, tela y fieltros.
Reducción de aguas residuales.	Problemas de higiene en los productos finales (papel tisú, papel en contacto con alimentos).

Fuente: BREF

La pasta y el agua que la transporta contienen compuestos orgánicos disueltos y coloidales llamados basura aniónica. A elevadas concentraciones estas sustancias orgánicas pueden afectar la retención y formación de la hoja de papel, incrementar el taponamiento de la tela y de los fieltros y formar depósitos pegajosos sobre el papel, los rodillos, las telas, los fieltros, etc.

En la producción de papel a partir de pasta mecánica los problemas son más pronunciados puesto que la mayoría de los compuestos de la madera están aún presentes en la pasta y se disuelven parcialmente en las aguas de proceso, originando problemas de pitch.

En la producción de papeles en contacto con alimentos los productos deben estar libres de cualquier material dañino soluble en agua.

La temperatura alcanzada en la máquina de papel debe ser controlada de manera que no se excedan los 45-55 °C en la parte húmeda de la máquina. Por otro lado, en la sección de formación, es ventajosa una suspensión de pasta caliente puesto que la viscosidad del agua decrece al incrementarse la temperatura, resultando en un mejor desgote.

Aspectos importantes para el control de los efectos del cierre de circuitos de agua son:

- Evitar que a los circuitos de agua de la máquina de papel le lleguen aguas de la planta de pastas o de otras máquinas de papel que funcionen en paralelo. La separación de los circuitos de agua se suelen llevar a cabo con espesadores.
- El agua reciclada de sellado o de refrigeración, o las aguas blancas de alimentación a los rociadores de la máquina de papel, deben tratarse adecuadamente para prevenir obturaciones y desgastes de la máquina de papel.
- Las aguas de sellado se deben refrigerar mediante intercambiadores de calor o aguas limpias para evitar bajos rendimientos en las bombas de vacío.
- Es imprescindible definir la calidad del agua que se requiere para cada parte del proceso, de manera que la composición (por ejemplo, contenido en materias coloidales), dureza, pH y temperatura del agua reciclada alimentada debe ser compatible con los equipos o corrientes de proceso.

- La pasta debe ser eficientemente lavada antes de ser alimentada a la máquina de papel, para reducir el contenido en materias disueltas o coloidales. A ser posible la pasta debe ser espesada antes de pasar a la siguiente etapa.
- Cuando se cierran los circuitos de agua se deben valorar los compuestos químicos que se le añaden al papel, puesto que algunos compuestos químicos presentan incompatibilidades con determinados contaminantes o con otros aditivos. En muchos casos el cierre disminuye la eficacia de los aditivos.
- Se deben analizar las corrientes de agua reciclada para evitar que se excedan los límites que aseguran la calidad de las mismas.

Aplicabilidad

Estas medidas pueden ser llevadas a cabo tanto en fábricas nuevas como en existentes. No obstante, las fábricas existentes requieren de varios años para implementar estas mejoras. Estos requerimientos son menores para la fabricación de papeles de embalaje no blanqueados, y se hacen más estrictos para papeles de elevada calidad.

Aspectos medioambientales

Estas medidas están consideradas como una parte integral de lo descrito en el punto 6.2.9, lo que suponen alcanzar o mantener bajos niveles de consumo de agua fresca sin presentarse efectos adversos significantes.

Experiencias operacionales

Destacan los riesgos de incrustaciones causadas por compuestos de calcio y los problemas de slime, pitch y stickies que deben ser controlados mediante la mezcla apropiada de fracciones de aguas, control de pH, incremento en la adición de aditivos de control, o purgas apropiadas.

Si la máquina de papel opera por encima de 50 °C, el crecimiento de microorganismos en el sistema de agua y su actividad son menores. No obstante puede ocurrir actividad anaerobia por encima de los 50 °C (bacterias termofílicas) generando sulfuros malolientes que deben ser controlados.

Las técnicas de optimización para el control de estas medidas en plantas existentes se suelen llevar a cabo en varios años. Muchas fábricas han solucionado los problemas de control de estas medidas tan sólo usando más compuestos químicos. La selección adecuada de los compuestos químicos y aditivos, así como la combinación entre ellos, es un procedimiento complejo, pero necesario para una adecuada eficiencia y menores costes de impacto ambiental.

Aspectos económicos

Los costes dependen principalmente de las condiciones de la fábrica. Los costes de las medidas dependen del número y naturaleza de la reordenación necesaria y el tipo de instalaciones adicionales requeridas.

7.4. TRATAMIENTOS FINALISTAS TECNOLÓGICAMENTE EMERGENTES

7.4.1. Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración

Descripción

Este tratamiento terciario del efluente logra una eliminación significativa de DQO, AOX y color con mínimas dosificaciones de ozono. Un esquema de este proceso se muestra en la figura 7.4.1.

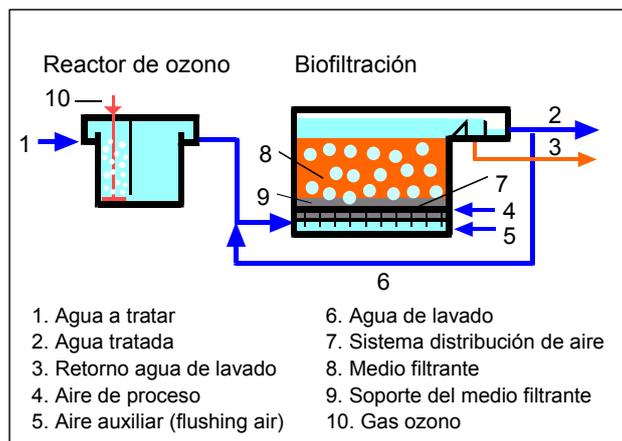


Figura 7.4.1. Proceso combinado de ozonización y biofiltración. Fuente: BREF.

El principal objetivo de este proceso es transformar los componentes orgánicos del agua residual en parcialmente biodegradables.

Los resultados de pruebas con efluentes de varias fábricas después de ser sometidos a tratamiento biológico, indican que con consumos específicos de ozono de 0,7-1,0 Kg O₃/Kg DQO eliminado, se llega a reducciones de más del 50% de la DQO inicial si se complementan con la biofiltración. Estas pruebas tienen una consideración económica positiva puesto que la comparación con las actuales técnicas de floculación/precipitación es altamente favorable.

Estado de desarrollo

El tratamiento con ozono de las aguas residuales depuradas biológicamente para la reducción adicional de DQO residual y mejorar el color, se ha probado en laboratorios y plantas piloto. Los ensayos del laboratorio [Öller, 1997] y las investigaciones en planta piloto [Möbius, 1996] han demostrado que el tratamiento con ozono puede reducir sensiblemente la DQO y el color en función de la cantidad de ozono aplicada. Se puede considerar que ésta técnica se encuentra en estado de desarrollo.

Principales efectos ambientales

La eficacia del tratamiento con ozono depende fuertemente de la calidad individual del agua que se tratará y del sistema de tratamiento específico. Por lo tanto, no hay un comportamiento general sobre los efectos ambientales alcanzables. Los efluentes que presentan ciertas limitaciones en términos de DQO y el cociente DBO₅/DQO, la biodisponibilidad se puede realzar para permitir el tratamiento biológico adicional. El agua tratada con ozono se puede reutilizar en el proceso de producción.

7.5. TABLA RESUMEN DE LOS TRATAMIENTOS FINALISTAS PROPUESTOS

A continuación se muestra a modo de tabla resumen todas las alternativas tecnológicas propuestas con una breve descripción de en qué consisten, así como los beneficios que se obtienen de su aplicación y las repercusiones que tiene dicha aplicación en el proceso productivo.

Están clasificadas según cuatro categorías: vertidos líquidos, emisiones a la atmósfera, residuos sólidos / lodos y energía, tanto para la fabricación de pastas (pasta mecánica "PM", pasta kraft "PK", pasta al sulfito "PS" y pasta a partir de papel recuperado "PR"), como para la fabricación de papel.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 1: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.3.1.	PM, PK, PS, PR	Tratamiento primario del agua residual	Tratamiento primario de coagulación-floculación previo al proceso de sedimentación o flotación.	Reducción de sólidos en suspensión y nutrientes de las aguas.	Se genera una cantidad determinada de lodos.
7.3.2.	PR	Tratamiento anaerobio como primera etapa del tratamiento aerobio	Tratamiento biológico anaerobio como etapa previa al tratamiento biológico en aguas residuales con un alto contenido en materia orgánica biodegradable.	Eliminación de DQO y DBO. Facilita el tratamiento aerobio posterior, reduciendo el tamaño de la instalación y los costes de la misma.	Ninguna
7.2.2.	PM, PK, PS, PR	Tratamiento biológico del agua residual	Tratamiento para eliminar sustancias orgánicas que consumen oxígeno y otros compuestos orgánicos.	Reducción de DQO y DBO.	Ninguna
7.3.3	PM, PK	Tratamiento terciario del agua residual con precipitación química	En algunos casos es necesario ampliar el tratamiento del efluente con el tratamiento terciario para la eliminación de nutrientes, fundamentalmente fósforo. Las sustancias orgánicas disueltas y coloidales se desestabilizan con un agente químico para producir su aglomeración y posterior separación por filtración o precipitación.	Reducciones de nutrientes como fósforo, nitrógeno, DQO y AOX.	Ninguna
7.4.1.	PM, PK, PS	Tratamiento de los efluentes con un proceso combinado de ozonización y biofiltración	Con mínimas dosificaciones de ozono se consigue transformar los componentes orgánicos del agua residual en parcialmente biodegradables.	Eliminación significativa de DQO, AOX y color.	La eficacia del tratamiento con ozono depende de la calidad del agua que se tratará y del sistema de tratamiento específico

PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL 2: EMISIONES A LA ATMÓSFERA (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.2.3.	PK, PS	Captación y tratamiento de los gases malolientes	Los gases son captados y conducidos hasta los sistemas de tratamiento por incineración. En el caso de gases de baja concentración también se puede llevar a cabo un lavado de los mismos.	Reducción de las emisiones de TRS (Compuestos reducidos de azufre), COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y HAP (Hazardous Air Pollutants).	Ninguna
7.2.4.	PK, PS	Instalación de quemadores de baja emisión de NOx	Instalación de tecnologías de baja emisión de NOx en las calderas.	Disminución notable de los niveles de Nox.	Ninguna

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 3: RESIDUOS SÓLIDOS / LODOS (FABRICACIÓN DE PASTAS)

Nº	Tipo de pasta	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.2.6.	PM	Minimización de residuos a vertedero en plantas de pasta mecánica.	Prensado de los lodos para conseguir unos niveles de sequedad que permitan la posterior incineración.	La incineración de los lodos permite generar energía	Ninguna.
7.2.7.	PR	Tratamiento in situ de rechazos y lodos: desgote.	Tratamiento de los rechazos y lodos con el fin de aumentar su sequedad.	Posibilitar su posterior valorización.	Ninguna.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 5: VERTIDOS LÍQUIDOS (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.3.4.	Control de desventajas potenciales del cierre del circuito de agua.	Cierre de circuitos de agua. Recabar información sobre caudales y análisis químico de los sistemas de agua para evitar problemas que conlleva el cierre de los circuitos.	Permite estudiar y controlar el comportamiento del agua de toda la fábrica y determinar las mejores condiciones de funcionamiento.	Mayor concentración de partículas disueltas en los circuitos de agua. Riesgo de disminución de calidad del producto. Mayor consumo de aditivos.
7.2.2.	Tratamiento biológico del agua residual.	Tratamiento para eliminar sustancias orgánicas que consumen oxígeno y otros compuestos orgánicos.	Reducción de DQO y DBO.	Ninguna.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 6: ATMÓSFERA (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.2.4.	Instalación de quemadores de baja emisión de NO _x	Instalación de tecnologías de baja emisión de NO _x en las calderas.	Disminución notable de los niveles de NO _x .	Ninguna.
7.2.5.	Reducción del ruido exterior producido	La técnica mas empleada para minimizar el ruido es el confinamiento en cabinas de insonorización.	Disminución de la emisión de ruido.	Ninguna.

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL 7: RESIDUOS SÓLIDOS /LODOS (FABRICACIÓN DE PAPEL)

Nº	Medida propuesta	Descripción	Beneficios	Repercusión en el proceso productivo
7.2.7.	Tratamiento in situ de rechazos y lodos: desgote.	Tratamiento de los rechazos y lodos con el fin de aumentar su sequedad.	Posibilitar su posterior valorización.	Ninguna.
7.2.8.	Combustión de lodos de destintado.	Combustión en lecho fluidizado de los lodos de destintado.	Minimización de residuos.	Ninguna.

8. CASOS PRÁCTICOS

En el presente capítulo se proporcionan ejemplos tanto de alternativas de prevención en origen de la contaminación como de tratamiento finalista. Cada uno de los ejemplos se muestra en forma de ficha. En ella se resume la alternativa llevada a cabo por una empresa determinada en base a sus objetivos, tanto medioambientales como económicos, se describen los resultados obtenidos tras la aplicación de la medida y se proporcionan datos económicos de dicha aplicación.

La información mostrada en las fichas se ha obtenido tanto de publicaciones bibliográficas como a partir de la información suministrada, de manera desinteresada, por las propias empresas en las que se ha llevado a cabo la implantación de las alternativas. Cabe decir, que la información mostrada en los apartados de valoración económica, resultados y ahorros obtenidos es orientativa.

Las implantaciones de las alternativas de prevención en origen de la contaminación (*8.1. Casos Prácticos de Alternativas de Prevención en Origen de la Contaminación*) y los tratamientos finalistas (*8.2. Casos Prácticos de Tratamientos Finalistas*) han permitido a las empresas obtener tanto mejoras ambientales como productivas. Se considera que la puesta en práctica de las alternativas descritas en los capítulos 6 y 7 del presente Manual, representa, en la mayoría de los casos, un éxito tanto a nivel de prevención de la contaminación, como a nivel económico, como de mejora de la calidad del producto.

A su vez se ha considerado conveniente la inclusión en este capítulo del apartado *8.3. Otros ejemplos de Buena Gestión Ambiental*, donde se describe la adopción de nuevas metodologías y políticas ambientalmente más respetuosas por parte de varias empresas.

8.1. CASOS PRÁCTICOS DE ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN EN ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN

Caso Práctico 1	8.1.1. Cocción modificada extendida													
Empresa	AUSSEDAT-REY													
País	FRANCIA													
Producción	Producción de pasta.													
Problemática medioambiental	Elevada carga contaminante de vertido.													
Objetivo	Adoptar una nueva tecnología para disminuir la carga contaminante en el vertido al río Vienne.													
Antecedentes	La empresa AUSSEDAT-REY decide, en el año 1994, aumentar su capacidad de pasta de papel de 440 t/d a 1.100 t/d. Un estudio de calidad realizado en el río Vienne mostró que se debía reducir la descarga de DQO a la mitad.													
Medida a aplicar	<p>La medida a implantar implica las siguientes modificaciones del proceso productivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proceso continuo con cocción extendida para eliminar el máxima de lignina. • Lavado usando una prensa de lavado. • Alteración de la secuencia de blanqueo sustituyendo el cloro por dióxido de cloro para reducir la descarga de compuestos organoclorados. • Stripping y reciclado del condensado. 													
Resultados obtenidos	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Antes de la aplicación de la medida</th> <th>Tras la aplicación de la medida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DQO (kg/t)</td> <td>95</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>SS (Kg/t)</td> <td>8,6</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>Caudal (m³/t)</td> <td>204</td> <td>57</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la descarga de compuestos organoclorados, en un factor de 15. • Reducción del 30% en el consumo de agua. • Reducción del 50% de la DQO vertida. • Contribución a la imagen pública de la empresa. 			Antes de la aplicación de la medida	Tras la aplicación de la medida	DQO (kg/t)	95	21	SS (Kg/t)	8,6	0,2	Caudal (m ³ /t)	204	57
	Antes de la aplicación de la medida	Tras la aplicación de la medida												
DQO (kg/t)	95	21												
SS (Kg/t)	8,6	0,2												
Caudal (m ³ /t)	204	57												
Aspectos económicos	<p>Inversión total: 42.075.928 € Reducción del 30% en el consumo de agua</p>													
<p><i>Fuente: Environmental Management Centre. Este caso fue presentado a la UNEP (United Nations Environment Programme) en 1994 por la Office International de L'Eau.</i></p>														

Caso Práctico 2	8.1.2. Cocción modificada extendida y blanqueo con oxígeno		
Empresa	LA CELLULOSE DU RHONE ET D AQUITANE		
País	FRANCIA		
Producción	Producción de pasta Kraft.		
Problemática medioambiental	Elevada carga contaminante de vertido.		
Objetivo	Reducir la carga contaminante del vertido.		
Antecedentes	La empresa LA CELLULOSE DU RHONE decidió, en el año 1993, incrementar su producción de pasta blanqueada kraft de 130.000 t/a a 320.000 t/a. Para ello debe realizar una modificación de su proceso para garantizar los requerimientos del río Garonne (el cual abastece con agua de bebida a más de 600.000 habitantes), reduciendo la carga contaminante de vertido a la mitad.		
Medida a aplicar	<p>La medida a implantar implica una modificación del proceso productivo que consiste en introducir un proceso de cocción extendida en contracorriente. A la salida de la cocción se obtiene un nuevo licor blanco sin lignina y la pasta obtenida contiene un 2,5% de lignina, en vez del 4% que tenía con el proceso clásico. La pasta es posteriormente purificada en un filtro rotatorio a vacío, lavada y concentrada al 12%. El licor negro con la lignina extraída se incinera en la caldera de recuperación.</p> <p>Actuaciones llevadas a cabo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cocción extendida, con lavado a presión. • Eliminación de lignina usando oxígeno. • Blanqueo con dióxido de cloro. • Recirculación de los efluentes de blanqueo a los licores negros. 		
Resultados obtenidos	Con esta medida el contenido en materia oxidable del efluente de la planta se reduce por debajo de 10kg/t de pasta.		
		Antes de la aplicación de la medida	Tras la aplicación de la medida
	DQO (kg/t)	55	24
	DBO (kg/t)	14	1
	Compuestos coloreados (kg/t)	67	25
Compuestos organoclorados (kg/t)	0,8	0,3	
Aspectos económicos	Inversión total: 25.154.086 € Cocción extendida, lavado amplio: 8.689.593 € Blanqueo con oxígeno: 16.464.493 €		
<i>Fuente: Environmental Managment Centre. Este caso fue presentado a la UNEP (United Nations Environment Programme) en 1994 por la Office International de L'Eau.</i>			

Caso Práctico 3	8.1.3. Recuperación y reutilización de compuestos químicos de las lejías negras
Empresa	RAKTA GENERAL CO.
País	EGIPTO
Producción	Producción de pasta a partir de paja de arroz.
Problemática medioambiental	Contaminación debido al vertido de lejías negras. Elevado consumo de compuestos químicos en la cocción.
Objetivo	Recuperación y reutilización de lejías negras.
Antecedentes	<p>En general, la cantidad de compuestos químicos necesarios para la digestión de materia prima no maderera es de un 20-50% en peso de pasta producida. Por razones económicas, y para prevenir la contaminación ambiental, los compuestos químicos deben ser recuperados del licor negro. En la pasta química producida a partir de paja de arroz, cerca de la mitad de la cantidad de sílice contenido en la planta se disuelve en el licor negro (la paja de arroz contiene entre un 8-14% de SiO_2) Esto causa problemas en todas las etapas del proceso de recuperación de compuestos químicos.</p> <p>Por tanto para que el proceso sea económica y medioambientalmente viable es necesario eliminar la sílice del licor negro.</p>
Medida a aplicar	<p>La fábrica de RAKTA llevó a cabo esta medida en una planta piloto.</p> <p>En el proceso de recuperación y eliminación de sílice llevado a cabo, el licor negro proveniente de la unidad de lavado se filtra en un filtro rotatorio. El filtrado del licor negro se almacena y se alimenta a la planta de evaporación de cuatro etapas.</p> <p>Posteriormente, una parte del licor negro preconcentrado se alimenta a un reactor agitado, al cual se añade desespumante, donde se pone en contacto continuo con una corriente de gas combustible procedente de la chimenea de la central de energía. De esta manera, el silicato de sodio soluble se convierte en carbonato de sodio y en SiO_2 insoluble.</p> <p>Esta mezcla de dos fases se lleva a un decantador, mediante un tanque intermedio, en el cual se separan los precipitados del licor. Para una clarificación final el licor se pasa a través de un separador, donde se eliminan las partículas residuales insolubles.</p> <p>El licor negro con un bajo contenido en sílice se quema posteriormente de un modo convencional para recuperar su energía.</p> <p>La sílice extraída del licor negro, junto con la materia orgánica y el álcali, forma un lodo en el decantador con un contenido en sólido disuelto (DS) de 30-40%, que se lleva a incineración. La elución del álcali procedente de las cenizas en agua, seguido de una filtración y secado, produce sílice blanca granulada, que puede ser usada como carga mineral.</p> <p>El pH óptimo se encuentra alrededor de 9-10.</p> <p>En la planta piloto la capacidad de tratamiento del filtro es de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, y la capacidad de evaporación es de $18,5 \text{ t/h}$. La planta piloto de RAKTA trata 50 t/d de licor negro preconcentrado.</p>

Resultados obtenidos	<p>Independientemente de la cantidad de sílice contenida en el licor negro, que típicamente se encuentra en el rango de 1% (en peso), después del separador se logró un contenido de sílice del 0,05%.</p> <p>Entre las ventajas adicionales del nuevo sistema de recuperación se encuentran: se tienen tan sólo pequeñas pérdidas de álcali o cal purgando las últimas trazas de SiO₂, y menos residuos en forma de silicatos de calcio.</p>
Aspectos económicos	<p>El cálculo de los costes muestra que la planta de desilicación representa tan sólo el 12% de la inversión total de una planta de recuperación convencional.</p> <p>Del mismo modo, los costes de mano de obra y servicios generales son relativamente bajos. Un cálculo realizado para 200 t/d de pasta resulta en unos costes de operación para una planta de recuperación de soda cáustica, incluyendo desilicación, de 110 €/t de pasta. Sin recuperación, la fábrica debe gastar 180 €/t para comprar sosa cáustica en el mercado.</p> <p>En este caso se obtienen ahorros anuales de recuperación de químicos de 4,4 millones de €, o el 13,3% del valor de mercado internacional de pasta.</p>
<p><i>Fuente: Este caso, proyecto piloto, fue presentado por el Working Group on Cleaner Production in the Pulp and Paper Industries de la UNEP.</i></p>	

Caso Práctico 4	8.1.4. Obtención de pasta Kraft blanqueada
Empresas	ENCE
País	ESPAÑA
Producción	Pasta Kraft TCF a partir de madera de eucalipto.
Problemática medioambiental	Impacto medioambiental global de los vertidos (sólidos, líquidos y gaseosos) de la planta.
Objetivo	<p>Eliminación, reducción o minimización del posible impacto que los efluentes líquidos, las emisiones atmosféricas y/o los vertidos sólidos pueden generar en la fabricación de pasta blanqueada mediante la aplicación de alternativas de producción limpia (APL) de acuerdo con la directiva IPPC.</p> <p>Establecimiento de un Sistema de Gestión Medioambiental (SGM), conforme las normas internacionales ISO14000.</p>
Procedimiento	<p>Han existido dos periodos de inversión para la renovación tecnológica y medioambiental de la fábrica de Pontevedra de ENCE. El plan 1975-88 supuso una inversión de 43 millones de euros y el plan 1988-1992 de 90 millones de euros, ya que supuso la renovación de un 80% de las instalaciones existentes.</p> <p>El procedimiento de aplicación de las APLs y el establecimiento del SGM se llevó a cabo de acuerdo con el "Plan Estratégico Tecnológico Medioambiental 1988-1992" desarrollado por la Empresa.</p> <p>La implementación de dicho plan permitió mejorar la capacidad de producción y la calidad de la pasta, aumentando la competitividad de la planta a la vez que se consiguió reducir considerablemente el impacto medioambiental de la misma.</p>

<p>Métodos</p>	<p>APL GENERALES (1988-1992)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implantación de un sistema de gestión medioambiental que define claramente las responsabilidades de los aspectos ambientales significativos. • Entrenamiento, educación y motivación de los operadores y personal de empresas auxiliares. • Optimización del control del proceso, a fin de reducir la emisión simultánea de diferentes contaminantes y mantener un nivel bajo de emisiones. • Aseguramiento de una buena calidad del mantenimiento de las instalaciones de manera que permita mantener un alto nivel de eficiencia de los equipos de fabricación así como de las instalaciones de control de las emisiones contaminantes. • Disponer de una base de datos de todos los productos químicos y aditivos empleados conteniendo información de su composición química, su degradabilidad, su toxicidad para las personas y el medio y su potencial bioacumulación. • Aplicar el principio de sustitución, y así se recoge en el Sistema de Gestión Medioambiental de la fábrica, empleando los productos disponibles, menos agresivos para el medioambiente. <p>APL PARA REDUCIR EL IMPACTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1988) Descortezado en seco de la madera. • (1992) Sistema de cocción modificado, llevando a cabo la cocción a bajo índice kappa. • (1991) Lavado de pasta cruda de alta eficiencia y tamizado en circuito cerrado. Se utiliza un lavado en tres etapas antes de la fase de oxígeno y dos etapas adicionales posteriores. • (1991) Deslignificación con oxígeno. • (1991) Blanqueo mediante un proceso ECF o TCF y empleo de un sistema de recirculación de las aguas del proceso de blanqueo. El sistema de blanqueo implantado en la fábrica de Pontevedra es el TCF con recirculación de aguas. • (1989) Depuración y reutilización de los condensados. En el stripping se depuran todos los condensados concentrados y se reutilizan en el circuito los menos concentrados. • (1989-92) Sistema efectivo de monitorización de reboses, confinamiento y recuperación de los mismos. Construcción de cubetos de recogida en todas las zonas en las que podía haber reboses e instalación de una red de canalillos conductores hasta los fosos de recogida desde donde se bombean para su reincorporación al circuito. • (1991) Suficiente capacidad de las instalaciones de evaporación y combustión del licor negro para procesar las cargas adicionales debidas a la recogida de reboses y pérdidas. • (1989) Recogida y reutilización de las aguas limpias de refrigeración. Las aguas de refrigeración se recirculan a través de torres de enfriamiento, aportándose sólo las pérdidas por vaporización y las purgas por aumento de la salinidad. • (1988-92) Suficiente capacidad de los depósitos de recogida de reboses de licor negro de cocción, licor verde de recuperación y condensados
----------------	---

Métodos	<p>sucios para evitar sobrecargas puntuales en la planta de tratamiento de efluentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1980-93) Tratamiento primario y secundario de aguas residuales. <p>APL PARA REDUCIR EL IMPACTO DE EFLUENTES EN LA ATMÓSFERA</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1989) Recogida e incineración de los gases concentrados malolientes procedentes de la cocción, la evaporación del licor negro, el stripping de condensados y control del SO₂ resultante. • (1988-93) Recogida e incineración de los gases diluidos malolientes procedentes de diversas fuentes del proceso. • (1993) Reducción de las emisiones de TRS de la caldera de recuperación por medio del control informático de la combustión y medida del CO y, en el caso del horno de cal, mediante el control del exceso de oxígeno, utilizando fuel oil de bajo contenido de azufre y controlando el álcali residual en los lodos de entrada al horno de cal. • (1988) Control de las emisiones de SO₂ de la caldera de recuperación mediante la quema de licor negro con alta concentración de sólidos. • (1989) Control de las emisiones de NO_x de la caldera de recuperación y el horno de cal mediante el control de las condiciones de combustión, asegurando una buena mezcla y reparto del aire en la caldera. • (1992) Control de las emisiones de NO_x de la caldera auxiliar mediante el control de las condiciones de combustión. • (1992) Reducción de las emisiones de SO₂ de la caldera auxiliar mediante el uso de corteza, gas, fuel oil de bajo contenido de azufre y carbón, o controlando las emisiones de azufre con un scrubber. • (1988-92) Separación de los sólidos en suspensión contenidos en los gases de la caldera de recuperación, caldera auxiliar y horno de cal mediante el uso de eficientes precipitadores electrostáticos. El electrofiltro del horno de cal está en servicio desde el año 1988. El de la caldera de recuperación desde 1991. El de la caldera de cortezas desde el año 1992. <p>APL PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1992) Incineración de todos los residuos orgánicos no peligrosos (corteza, residuos de madera, lodos del tratamiento de vertidos, etc.) en una caldera auxiliar, especialmente diseñada para quemar combustibles húmedos, de bajo poder calorífico (por ejemplo: calderas de lecho fluido). • (1998) Utilización externa de los residuos en labores forestales, agrícolas y otras. • (1993-94) Minimización de la generación de residuos sólidos y recogida, reciclado y reutilización de las materias tanto como sea posible. • (1993-94) Recogida de residuos con separación en origen. <p>BLANQUEO ECF y TCF</p> <p>En la figura 8.1. se observa, que en la primera etapa del blanqueo tradicional se utilizaba el cloro gas. En la figura 8.2. se representa esquemáticamente cómo afectaba este blanqueo al efluente. Los compuestos organoclorados, liberados tras el lavado de cada etapa de álcali, se “vertían” al efluente de blanqueo que, posteriormente, se uniría al del resto de los vertidos hasta constituir el efluente final que se conducía a la planta de tratamiento de aguas residuales.</p>
---------	---

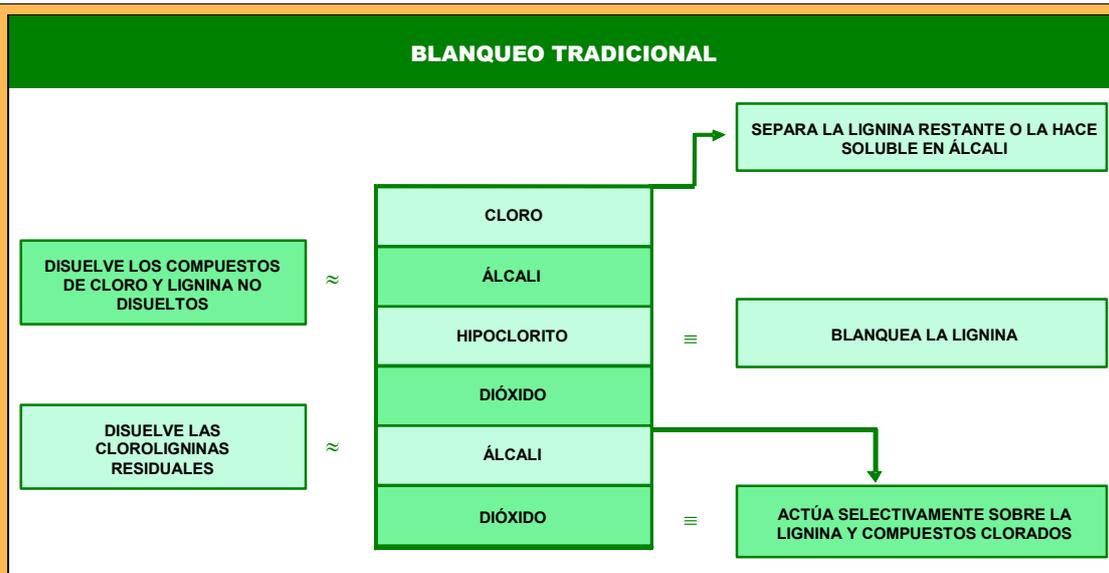


Figura 8.1.- Esquema del blanqueo tradicional

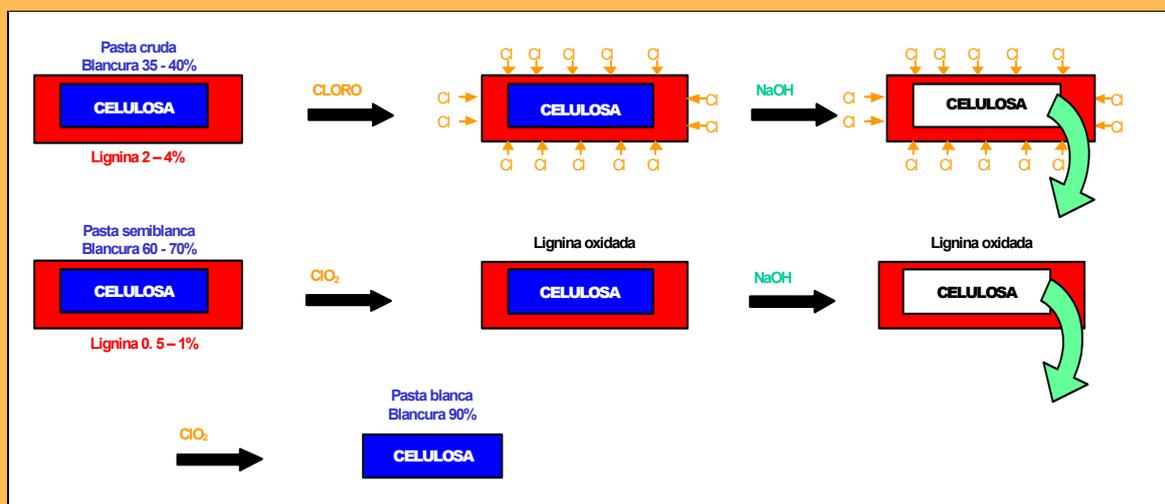


Figura 8.2.- Influencia del blanqueo tradicional en el efluente.

Métodos

En la figura 8.3 puede apreciarse la diferencia de la composición del vertido de blanqueo en el caso pastas TCF. Así como en el blanqueo tradicional existía la posibilidad de evacuar al efluente de blanqueo compuestos organoclorados, en el caso del blanqueo TCF, esta materia orgánica estará tan solo afectada por el peróxido residual de la segunda o tercera fase del proceso de blanqueo.

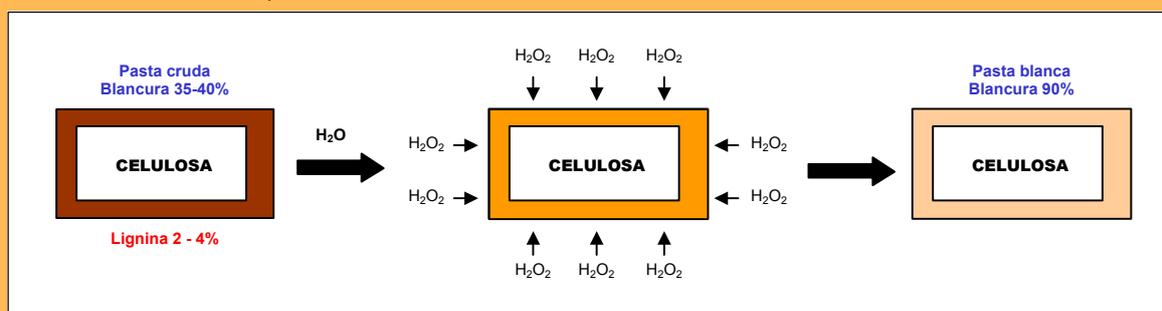


Figura 8.3.- Influencia del blanqueo TCF en el efluente.

Métodos

En la figura 8.4. se resume la reducción del impacto ambiental expresado en kilos de contaminante por tonelada de pasta blanqueada, en función del tipo de blanqueo.

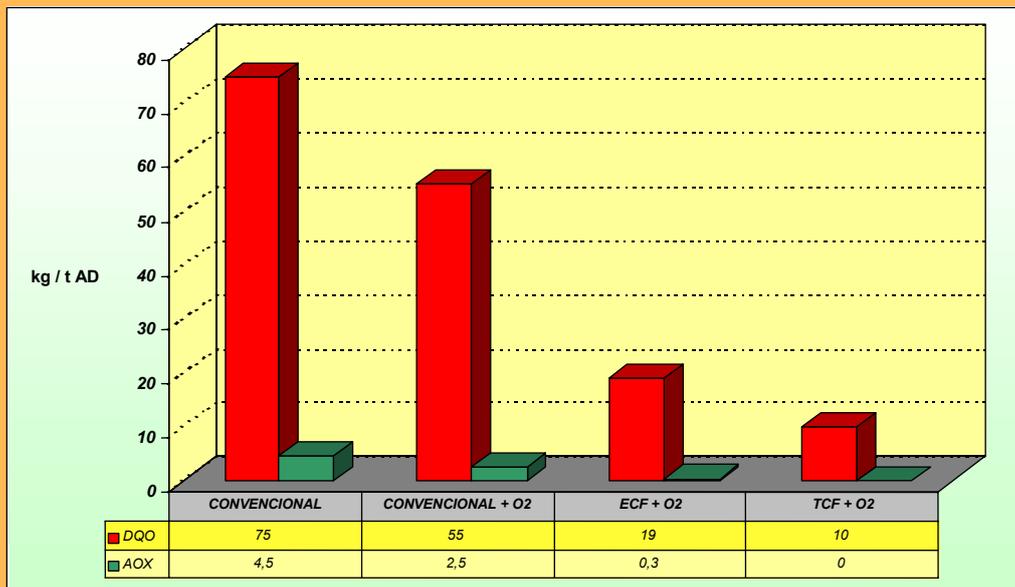


Figura 8.4.- Potencial de contaminación de las diferentes técnicas de blanqueo.

Conclusiones

- La renovación tecnológica y medioambiental de la fábrica de Pontevedra de ENCE se llevó a cabo con el plan 1975-88, con una inversión de 43 millones de euros y el plan 1988-1992, con una inversión de 90 millones de euros. A partir de 1993 se continuaron realizando inversiones en tecnología y medioambiente con los criterios de mejora continua, que partir de 1996, se proponen en la implantación del SGM, conforme a la norma ISO 14001, certificado mediante auditorías externas. Las inversiones a lo largo del periodo 1993-2004 han sido de 108 millones de euros.
- La inversión total desde 1975 a 2004 es de 240 millones de euros, que, actualizada, representa unos 325 millones de euros, de los cuales puede considerarse que 48 millones de euros corresponden a inversiones exclusivamente medioambientales.
- Las mejoras medioambientales se resumen en la tabla 8.1. El consumo específico de agua ha pasado de 264 m³/t de pasta seca, a 30 m³/t, lo que supone una reducción del 78%. La reducción de la emisión específica de DBO₅ y de DQO en kg/t de pasta seca ha sido del 86% y del 89% respectivamente. Los vertidos de AOX, se han eliminado casi totalmente.

Tabla 8.1. Mejoras medioambientales

PARAMETRO	Uds	1974	1988	1993	2003
Caudal	m ³ /día	84.500	80.000	54.000	36.100
Producción	t/año	112.000	199.500	225.500	371.057
Producción	t/día	320	570	716	1.046
Consumo	m ³ /t	264	140	75	30
pH	ud	2,5 – 4	6 – 8	7,3	7,6
Color	ud. Pt/Co	2000	1600	215	130
DBO ₅	Kg/t	50-80	15-20	4-5	2-3
DQO	Kg/t	180-210	80-100	15-20	9-10
AOX	Kg/t	4-5	4-5	< 0,05	0,006

Caso Práctico 5	8.1.5. Óptima gestión del agua
Empresa	SAICA (Sociedad Anónima Industrias Celulosa Aragonesa).
País	ESPAÑA
Producción	Producción de papel recuperado.
Problemática medioambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo de agua. • Problemática en el vertido.
Objetivo	Reducción del consumo de agua por tonelada de papel. Ahorro de materias primas. Vertido cero.
Medida a aplicar	<p>Instalación de una planta de tratamiento de aguas de proceso.</p> <p>Para SAICA la finalidad de este proyecto era ambiental pero también económica. Se trataba de mejorar los procesos productivos, consiguiendo a su vez una reducción de los ratios más significativos, en cuanto al consumo de agua por tonelada de papel, y al ahorro de materias primas y de recursos naturales.</p>
Descripción del proceso y antecedentes	<p>La empresa SAICA emplea el agua en su proceso productivo fundamentalmente para el transporte y homogeneización de la suspensión de pasta. La mejora aplicada consiste en que parte de las aguas, una vez reutilizadas, se depuran mediante un tratamiento anaerobio y aerobio. Una parte del agua clarificada se reutilizada en el proceso productivo ($2,5 \text{ m}^3$/tonelada de papel producido) y la otra parte se vierte al río Ebro ($2,5 \text{ m}^3$ de papel producido). En la Figura 8.5 se presenta el esquema del proceso y se resumen los caudales de agua más importantes de las distintas etapas del proceso.</p> <div data-bbox="485 1211 1414 1809" data-label="Diagram"> </div> <p>Figura 8.5.-Caudales de agua en las principales etapas del proceso.</p> <p>En el pulper las aguas blancas de la mesa de formación y las aguas clarificadas se reutilizan para facilitar la desintegración del papel recuperado utilizado como materia prima. Posteriormente, la pasta se diluye con agua fresca para favorecer la homogeneización de la suspensión a la entrada de la caja de alimentación de la máquina de papel y para facilitar su distribución</p>

	<p>sobre la tela de formación. El resto de agua fresca se utiliza fundamentalmente en las duchas y en el sistema de vacío.</p> <p>Una vez formada la hoja, el agua se elimina progresivamente a lo largo de la máquina de papel. Así a la salida de la mesa de formación la sequedad de la hoja es del 20%, a la salida de las prensas del 40% y a la salida de la sección de secado, donde el agua se evapora, del 92%.</p>																			
Descripción de la actuación	<p>Las actuaciones que se han llevado a cabo para controlar y reducir el consumo de agua en el proceso productivo han sido las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de las distintas corrientes de agua empleadas en los diferentes puntos de aplicación en función de la calidad requerida para los diversos usos. • Caracterización de la composición química de esas corrientes. • Segregación y separación de las diferentes corrientes. • Cierre de los circuitos de agua como consecuencia de la utilización de algunas de las corrientes que antes se descargaban al alcantarillado, en puntos donde pueden ser utilizadas según los requerimientos de calidad de las aguas. • Instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas de Proceso con reutilización del efluente de proceso de fabricación de papel (2,5 m³ sobre un caudal total de 5 m³/t). 																			
Resultados obtenidos	<p>Los cambios en el proceso productivo han mejorado los ratios de la empresa: el consumo en metros cúbicos de agua empleada por tonelada de papel producido ha bajado un 12%; el ratio en kg de DQO por tonelada de papel producido ha disminuido un 15%; así como el ratio de SST por tonelada de papel producido, que también se ha reducido en un 15%.</p> <p>En la tabla 8.2 se presenta una comparación de la situación antes (2001) y después (2002) de optimizar el uso de agua en SAICA. Asimismo se comparan los datos con los valores recomendados en el documento de referencia IPPC de la Unión Europea: Mejores Técnicas Disponibles en la industria del papel.</p> <p>Tabla 8.2. Comparación de resultados tras la aplicación de la medida</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>UNIDAD</th> <th>VALORES RECOM.</th> <th>SAICA 3 (2001)</th> <th>SAICA 3 (2002)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caudal</td> <td>m³/t papel producido</td> <td>< 7</td> <td>3,3</td> <td>2,9</td> </tr> <tr> <td>DQO</td> <td rowspan="2">Kg/t papel producido</td> <td>0,5 / 1,5</td> <td>0,82</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>SST</td> <td>0,05 / 0,15</td> <td>0,27</td> <td>0,23</td> </tr> </tbody> </table>		UNIDAD	VALORES RECOM.	SAICA 3 (2001)	SAICA 3 (2002)	Caudal	m ³ /t papel producido	< 7	3,3	2,9	DQO	Kg/t papel producido	0,5 / 1,5	0,82	0,7	SST	0,05 / 0,15	0,27	0,23
	UNIDAD	VALORES RECOM.	SAICA 3 (2001)	SAICA 3 (2002)																
Caudal	m ³ /t papel producido	< 7	3,3	2,9																
DQO	Kg/t papel producido	0,5 / 1,5	0,82	0,7																
SST		0,05 / 0,15	0,27	0,23																

Caso Práctico 6	8.1.6. Recuperación de la fibra en el proceso de fabricación de cartón
Empresa	JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A. La Pobla de Claramunt (Anoia)
Dirección	ESPAÑA
Producción	Producción de cartón a partir de papel recuperado.
Problemática medioambiental	Elevada carga contaminante del vertido.

Objetivo	Recuperar la fibra contenida en las aguas de desgote del proceso de fabricación de cartón y así favorecer la eficacia del proceso.
Descripción del proceso y antecedentes	<p>El proceso de fabricación de cartón se divide en dos grandes subprocesos: el de preparación de la pasta de papel y el de formación de las capas que tienen que constituir el cartón. En el primero, la materia prima se introduce en los pulpers y en diversos equipos de depuración para triturar el papel recuperado y eliminar los materiales de rechazo (plástico, metales, etc.) hasta obtener una pasta formada por fibras de celulosa y cargas minerales de diferentes características. En el caso de JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A., la pasta se centrifuga para poderla transportar a la segunda parte del proceso.</p> <p>En el segundo proceso, llamado "sección constante", la pasta se diluye a la concentración adecuada y se conduce al depósito de la cabeza de la máquina, desde donde se alimentan los diferentes formadores de capa. Cuando se forma cada capa, y a causa del prensado que se produce en cada unidad formadora, parte del agua y de la fibra (agua de desgote) vuelven al depósito. De esta manera, el agua se va recirculando y la concentración de sólidos en las mismas aumenta. Para mantener constante la concentración, parámetro esencial para mantener el espesor, el gramaje y la calidad de cada capa, se añade agua fresca, hecho que provoca un exceso de agua con fibras, que en caso de no poder reutilizarse se envía a la depuradora, con la consiguiente pérdida de agua y de fibras útiles.</p> <p>Una vez tratadas las aguas en la depuradora, las fibras difícilmente se puede reutilizar, ya que los lodos también contienen floculantes y cargas minerales, y su destino, es, por tanto, el vertedero.</p> <p>Los motivos por los que la empresa llevó a cabo esta actuación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de recuperar las fibras de las aguas de desgote para devolverlas al proceso de preparación de pastas, y así aumentar el rendimiento y la eficacia del proceso. • Posibilidad de recuperar y reintroducir el agua en el proceso de dilución de la pasta y no tenerla que llevar a la depuradora. • Posibilidad de reducir la generación de lodos de depuración y los costes asociados a su vertido.
Descripción de la actuación	<p>La actuación realizada por JOAN ROMANÍ ESTEVE, S.A. consiste básicamente en la recuperación de las aguas sobrantes (con alto contenido en fibra) del proceso de formación de la capa de cartón.</p> <p>Esta agua se conduce a un flotador de fibras donde, mediante una recirculación de agua clarificada y la inyección de aire en el depósito, se obtiene una estratificación por concentración, que permite separar las fibras concentradas del agua clarificada.</p> <p>Las fibras se centrifugan y se devuelven a la zona de preparación de pastas, donde se mezclan en una cierta proporción con la pasta elaborada. De esta manera se recupera casi toda la fibra que anteriormente iba a la depuradora y pasaba a formar parte de unos lodos que hacía falta llevar a vertedero.</p> <p>Por lo que respecta a las aguas clarificadas, en el flotador y en la centrifuga, se devuelven en una parte al depósito de las aguas de desgote, y el resto se realiza en la sección de preparación de las pastas para diluir la pasta espesa. El hecho de utilizar este agua clarificada (que lleva una parte de las cargas del proceso) supone una mejora en la formación de las capas de cartón, ya que aumenta la calidad y la uniformidad de las mismas.</p>

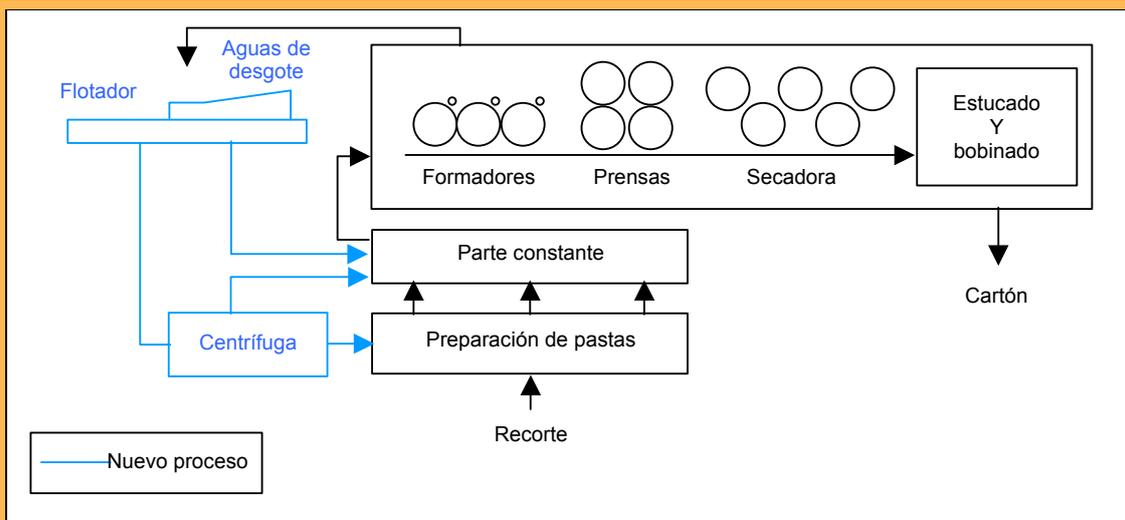


Figura 8.6. Diagrama de proceso de recuperación de fibra

	Proceso Antiguo	Proceso Nuevo	
Balance de materia	Consumo de agua	210.000 m ³ /a	210.000 m ³ /a
	Consumo de papel recuperado	55.000 t/a	55.000 t/a
	Producción de cartón (base 100)	100	100
	Consumo de cargas/aditivos	4.300 t/a	4.200 t/a
	Generación de Residuos	1.190 t/a	830 t/a
Aspectos económicos	<p>Costes de consumo eléctrico y mantenimiento: 7.813 €/año</p> <p>Ahorro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de cargas/aditivos: 60.101 €/año. - Depuración de aguas y gestión de lodos: 17.309 €/año <p>Inversión: 224.364 €</p> <p>Retorno de la inversión: 3,2 años</p>		
Resultados obtenidos	<p>Esta actuación de recuperación y reciclaje en origen permite una reducción del 30% de lodos generados en la depuradora por el tratamiento de las aguas de desgote con alto contenido en fibra.</p> <p>La recuperación de las fibras y del agua ha permitido, no sólo reducir los costes de tratamiento de las aguas, sino también mejorar la calidad final del producto, ya que se consigue una mayor uniformidad en las capas que se forman y la calidad de la fibra (entendida como mezcla de diferentes medidas de fibra) es la óptima. Así, por tanto, esta actuación favorece la uniformidad de las características del cartón fabricado.</p> <p>A causa de la recuperación adicional de fibras y de agua, la empresa ha podido aumentar su producción de cartón sin tener que consumir más materias primas o agua, y ha reducido el consumo de cargas minerales y aditivos en un 2,3%, es decir, ha incrementado la productividad.</p>		

Fuente: Centro para la Empresa y el Medio Ambiente CEMA S.A., Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña, España.

Caso Práctico 7	8.1.7. Reaprovechamiento del agua de las bombas de vacío de la máquina de papel
Empresa	Echezarreta
País	ESPAÑA
Producción	28.000 t/a de varios tipos de papel a partir de papel recuperado.
Problemática medioambiental	Elevado consumo de agua.
Objetivo	Disminuir el consumo de agua fresca y reducir el caudal de vertido.
Medida a aplicar	<p>El agua aportada para el cierre y la refrigeración de las bombas de vacío se utilizaba en parte, pero otra parte se estaba perdiendo. Las cantidades son del orden de aproximadamente 30 m³/h. El aprovechamiento de esta agua supone un importante ahorro en el consumo de agua fresca y una importante reducción del caudal de vertido.</p> <p>Una vez realizado un estudio de la calidad de esta agua y de los requerimientos de calidad de distintos puntos del proceso dónde se necesita la incorporación de agua, se definieron los puntos del proceso en que este agua se podía consumir.</p>
Resultados obtenidos	Se obtiene una reducción del 10% del consumo de agua y una reducción del vertido de aguas residuales.
Aspectos económicos	<p>Para el estudio económico se ha considerado que se reutilizan 10 m³/h de aguas de las bombas de vacío, para lo cual sólo es necesario una adaptación de los circuitos.</p> <p>Inversión (adaptar circuitos): 6.000 €.</p> <p>Costes adicionales anuales: 841 € (Costes de financiación: 600 € + Costes de mantenimiento: 240 €).</p> <p>Reducción de costes anuales: 12.627 €</p> <p>(ahorro de un 10% del consumo de agua fresca - 63.000 m³- que, considerando un coste de 9,17 pts/ m³, supone un ahorro de 3.473 € + ahorro de un 10% del tratamiento y vertido de aguas residuales que, considerando un coste de 24,17 pts/ m³, supone un ahorro de 9.153 €).</p> <p>Ahorros totales anuales: 11.785 €</p> <p>Periodo de amortización: 0,51 años</p>

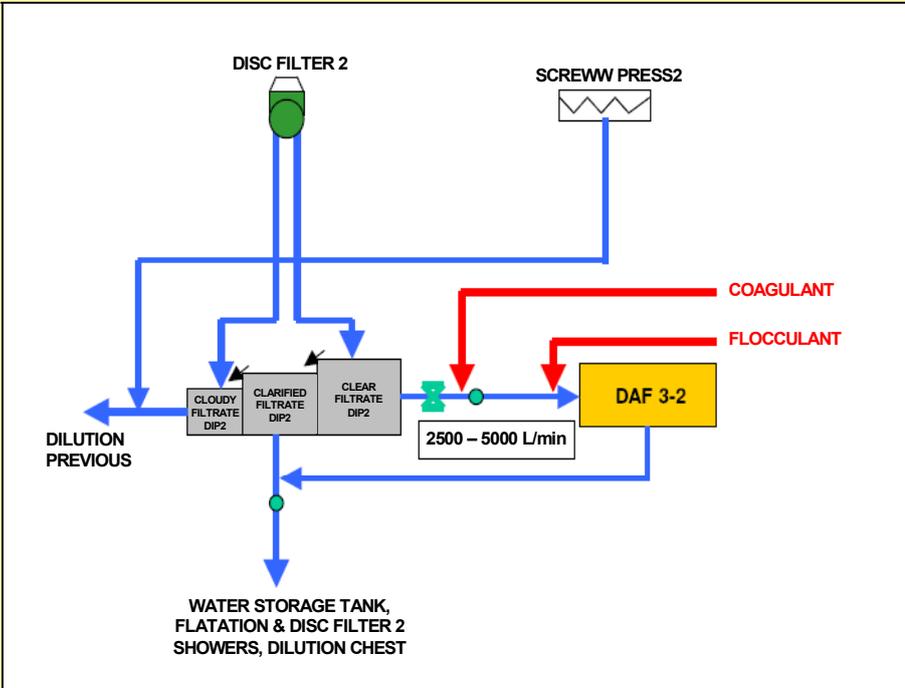
Caso Práctico 8	8.1.8. Minimización de la cantidad de aguas de limpieza en la limpieza de los conductos
Empresa	MANIPULADOS DEL TER, S.A.
Dirección	ESPAÑA
Producción	Producción de papel adhesivo o contracolado.
Problemática medioambiental	Ahorro en el consumo de agua y mejora de la gestión de las aguas residuales.
Objetivo	Obtener ahorros en el consumo de agua fresca y reducción del caudal de vertido.

<p>Descripción del proceso y antecedentes</p>	<p>En la fabricación de papel adhesivo o contracolado se pueden distinguir los siguientes procesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adhesivo: producto formado por dos láminas (generalmente de papel) unidas por un adhesivo sintético y que posteriormente podrán desengancharse (una sirve como etiqueta y la otra como papel de soporte). • contracolado: producto formado por dos láminas (las dos de papel o papel y lámina de aluminio o similar) unidas por una cola sintética con la finalidad de que no se puedan desenganchar posteriormente (utilizados en papelería para bolsas de regalo, etc.). <p>Las colas utilizadas permiten que el adhesivo se enganche sobre las superficies a las cuales van destinadas, y, en el caso de los contracolados, aseguran la permanencia y la estabilidad del complejo formado por los dos papeles. Cada tipo de papel y aplicación requiere un tipo especial de cola: se utilizan hasta siete calidades de cola diferentes en función de la producción prevista.</p> <p>Según el proceso utilizado hasta ahora, el cambio de un tipo de producto a otro obligaba a limpiar la conducción que introducía la cola al proceso, para evitar la mezcla de colas de diferentes composiciones, que alteraría la calidad del producto final. Esta operación generaba unas aguas de lavado con restos de colas y adhesivos que representaban un 90% de las aguas residuales tratadas externamente por un gestor autorizado.</p> <p>El consumo de agua para la limpieza de las conducciones de cola y el coste que representaba la gestión de estas aguas residuales han hecho que la empresa se planteara mejorar el diseño del circuito de introducción de cola al proceso. Por otro lado, esta modificación ha permitido realizar cambios de producción más rápidos, ya que evita el tiempo invertido en la limpieza.</p> <p>Otro de los motivos, para la implantación de esta mejora, fue el interés de la empresa en adoptar medidas para minimizar el riesgo de accidentes medioambientales. Esta preocupación ha motivado, por ejemplo, que se hayan instalado los puntos de recogida de residuos y de las emisiones de aguas residuales cerca de las instalaciones y tan lejos como ha sido posible del río. La empresa también ha fijado como objetivo la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en la fábrica.</p>				
<p>Descripción de la actuación</p>	<p>Los adhesivos y las colas utilizadas son de composición muy diversa, que varía según la utilidad que ha de tener el producto final. Los residuos de adhesivos y colas se producen por varios motivos, entre los cuales destacan la cola residual proveniente del proceso de encolado y las aguas de limpieza de los depósitos y de los circuitos de cola, que arrastran cierta cantidad de cola. Como se ha indicado, estas limpiezas se hacían cada vez que se cambiaba el producto, ya que todos los tipos de cola se introducían en el proceso por la misma conducción.</p> <p>La empresa se planteó una alternativa de minimización de la corriente residual de colas, consistente en la sustitución del único circuito de colas por siete circuitos paralelos (uno por cada tipo de cola), de manera que se anulan las limpiezas intermedias al cambiar el tipo de cola.</p> <p>Con la aplicación de esta alternativa, se considera que la cantidad de residuos de cola se reduce en un 45%.</p>				
<p>Resultados obtenidos</p>	<p>Producción anual de residuos de cola:</p> <table> <tr> <td>Proceso Antiguo:</td> <td>860.000 kg</td> </tr> <tr> <td>Proceso Nuevo:</td> <td>473.000 kg</td> </tr> </table>	Proceso Antiguo:	860.000 kg	Proceso Nuevo:	473.000 kg
Proceso Antiguo:	860.000 kg				
Proceso Nuevo:	473.000 kg				

Aspectos económicos	<p>Coste de gestión del residuo:</p> <p>Según el proceso antiguo: 655.570 €/año Según el nuevo proceso: 36.000 €/año</p> <p>Ahorro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En la gestión de residuos: 29.500 €/año - En el consumo de agua: 7.212 €/año <p>Inversión en instalaciones: 3.000 € Retorno de la inversión: Inmediato</p>
Conclusiones	<p>La modificación del proceso adoptada permite una segregación de residuos en origen. Esta segregación comporta una optimización del proceso productivo, ya que aumenta la flexibilidad para cambios de producción, y permite una disminución de la cantidad de residuos a gestionar; por tanto, se produce un ahorro en el coste asociado a la gestión externa de las aguas residuales.</p> <p>El retorno de la inversión es inmediato, por tanto, a parte de un beneficio ambiental, también se obtiene un importante beneficio económico.</p>
<p><i>Fuente: Centro para la Empresa y el Medio Ambiente CEMA S.A., Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya, España.</i></p>	

Caso Práctico 9	8.1.9. Tratamiento interno de las aguas de proceso por Ultrafiltración
Fábrica	Holmen Paper Madrid
Dirección	ESPAÑA
Producción	180 000 t/año de papel prensa y de papel estucado.
Problema	Necesidad de reducir el consumo de agua fresca debido a la instalación de una nueva máquina de papel de 250.000 t/año.
Objetivo	<p>Tratamiento interno de las aguas de proceso por ultrafiltración para la eliminación de contaminantes.</p> <p>Reutilización de las aguas tratadas en aplicaciones donde se requiere una alta calidad de las mismas, para disminuir el consumo de agua fresca.</p>
Descripción del proceso	<p>Aunque el consumo específico de agua en Holmen Paper Madrid está en el intervalo inferior descrito en el BREF (Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry) para la fabricación de papel prensa (13 m³/t), la ampliación de la planta con una nueva máquina de papel hizo necesario cerrar aún más los circuitos de aguas para disponer de agua fresca suficiente para las dos máquinas.</p> <p>Para evitar la acumulación de contaminantes en las aguas de proceso y poder reutilizar las aguas en usos que requieren una elevada calidad de las mismas se decidió instalar una unidad de ultrafiltración para el tratamiento de 800 m³/d de aguas provenientes de la unidad de flotación por aire disuelto de la máquina de papel. La eliminación de contaminantes permite la reutilización de las aguas clarificadas en los cierres mecánicos, en las regaderas de precisión etc.</p> <p>La ultrafiltración consiste en la utilización de una membrana semi-permeable de baja presión para separar partículas de alto peso molecular, en el intervalo de tamaño aproximado de 0.01 a 0.1 µm, dejando pasar sales y partículas de</p>

	<p>bajo peso molecular. En este caso se han instalado platos filtrantes de poliuretano con una superficie de membrana de 140 m².</p> <p>Para obtener un buen rendimiento en el proceso de ultrafiltración es necesario un tratamiento previo de filtración de las aguas. Después de un número de horas de funcionamiento de la filtración, variable según las condiciones de trabajo, las membranas llegan a un grado de colmatación elevado y el caudal de permeado disminuye a valores inferiores a la producción mínima aceptable. El retrolavado ya no es suficiente para mantener el sistema en valores de caudal medio. Cuando esto ocurre, la filtración deberá ser detenida y se procederá a efectuar un lavado intenso de las membranas, que consiste en vaciar el circuito y cargarlo nuevamente con solución de reactivo en recirculación durante un tiempo que suele ser aproximadamente de una hora. El reactivo de limpieza a utilizar varía en función de las aguas que se filtran y puede ser un ácido fuerte, una base fuerte, un compuesto oxidante fuerte o un desengrasante.</p>																									
Resultados	<p>En la tabla 8.3 se resumen los valores medios de los principales parámetros de las aguas de proceso y la eficacia que, para cada uno de dichos parámetros, muestra la ultrafiltración.</p> <p>Tabla 8.3. Reducciones conseguidas mediante ultrafiltración en aguas de proceso.</p> <table border="1" data-bbox="488 880 1409 1115"> <thead> <tr> <th></th> <th>Entrada</th> <th>Aceptado</th> <th>Rechazo</th> <th>Reducción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conductividad (μS/cm)</td> <td>1.200</td> <td>1.170</td> <td>1.234</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Sólidos Suspensión (ppm)</td> <td>40</td> <td>3</td> <td>322</td> <td>88%</td> </tr> <tr> <td>DQO (ppm)</td> <td>450</td> <td>339</td> <td>937</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Turbidez (NTU)</td> <td>440</td> <td>1</td> <td>1.146</td> <td>99%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se puede observar como la eficacia desde el punto de vista de la turbidez y de los sólidos en suspensión es cercana al 100%, mientras que la reducción de la DQO, por ejemplo, es significativamente menor, aunque suficiente dependiendo de los casos. Se observa que no se produce reducción de la conductividad.</p> <p>Las aguas resultantes de la ultrafiltración se utilizan para la limpieza del fieltro y de los rodillos de succión en la máquina de papel, en los que se requiere ante todo una eliminación total de los sólidos. Se estima que gracias a éste tratamiento se puede reducir el consumo de agua fresca en casi un 25%.</p> <p>Existen otras ventajas secundarias de la incorporación de este proceso en el tratamiento de las aguas residuales del proceso, que lo convierten en una APL. Estas ventajas son: la reducción en el consumo de sosa en el destintado (por el mayor pH de las aguas recirculadas respecto al filtrado claro del filtro de discos de la máquina), la reducción en el consumo de ácido sulfúrico en las aguas por el menor pH de las aguas tratadas respecto al agua fresca y un ahorro de energía, debido a la mayor temperatura de las aguas tratadas respecto del agua fresca, sobre todo en invierno.</p>		Entrada	Aceptado	Rechazo	Reducción	Conductividad (μS/cm)	1.200	1.170	1.234	2%	Sólidos Suspensión (ppm)	40	3	322	88%	DQO (ppm)	450	339	937	25%	Turbidez (NTU)	440	1	1.146	99%
	Entrada	Aceptado	Rechazo	Reducción																						
Conductividad (μS/cm)	1.200	1.170	1.234	2%																						
Sólidos Suspensión (ppm)	40	3	322	88%																						
DQO (ppm)	450	339	937	25%																						
Turbidez (NTU)	440	1	1.146	99%																						
Datos económicos	<p>Inversión total: 450.000 €</p> <p>Consumo de electricidad: 115 Kw/h</p> <p>Costes aproximados de operación: 50.000 €/año</p> <p>Ahorros: Reducción del consumo de agua de 800 m³/d, lo que equivale a un ahorro de 245.000 €/año.</p> <p>Tiempo de retorno de la inversión: 2.5 años aproximadamente.</p>																									

<p>Caso Práctico 10</p>	<p>8.1.10. Flotación por aire disuelto</p>
<p>Fábrica</p>	<p>Holmen Paper Madrid</p>
<p>Dirección</p>	<p>ESPAÑA</p>
<p>Producción</p>	<p>180 000 t/año de papel prensa y de papel estucado.</p>
<p>Problema</p>	<p>Acumulación de contaminantes en las aguas de proceso, especialmente materia disuelta y coloidal y stickies, lo que afecta a la productividad de la máquina y a la calidad del producto final.</p>
<p>Objetivo</p>	<p>Mejorar la calidad de las aguas de proceso mediante su tratamiento por flotación con aire disuelto (DAF), para eliminar sólidos en suspensión y stickies, y posteriormente recircular las aguas tratadas en el propio proceso de fabricación.</p>
<p>Descripción del proceso</p>	<p>Las aguas provenientes de los filtros de discos del segundo lazo y de la máquina de papel se tratan por flotación con aire disuelto para su reutilización como agua limpia de dilución y para regaderas (Figura 8.7)</p>  <p>Figura 8.7. Integración de la unidad DAF en el proceso.</p> <p>La mayor cantidad de agua fresca que se consume en una fábrica de papel se consume en la máquina de papel, concretamente en las regaderas de la mesa, por lo que es importante sustituir el agua fresca de estos puntos por aguas de proceso. Para alcanzar ese objetivo es necesario llevar a cabo un tratamiento interno de las aguas de proceso previo a su reutilización.</p> <p>En este caso el tratamiento seleccionado fue una flotación por aire disuelto con una superficie efectiva de 69 m² y una altura de 1 m. En la unidad de flotación (figura 8.8), la suspensión se satura con aire a presión, de tal manera que la expansión genera burbujas de pequeño tamaño que permiten la eliminación de contaminantes entre 0.1 y 10 µm, por arrastre, formando espumas que pueden ser fácilmente eliminadas. Para facilitar la eliminación de materia se añaden aditivos de coagulación y/o de floculación.</p>

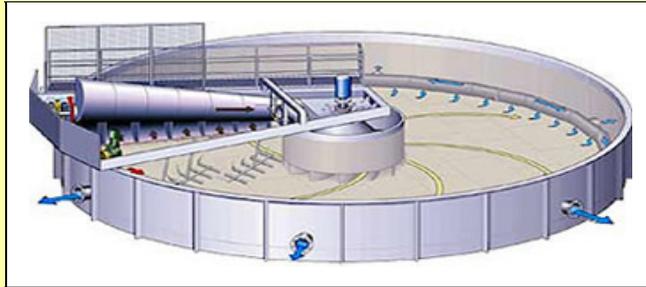


Figura 8.8. Unidad de flotación por aire disuelto.

Resultados	<p>La optimización físico-química de las unidades de flotación por aire disuelto permiten una buena eliminación de sólidos en suspensión, stickies y, en menor medida, de materia disuelta y coloidal. En el caso de fabricación de papel prensa, basta con la adición de floculante para alcanzar eficacias elevadas, mientras que para el caso de papel estucado es necesaria la combinación de coagulante y floculante.</p> <p>En general el tratamiento en la DAF permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación del 99% de sólidos en suspensión. • Eliminación de un 80-95% de cenizas. • Eliminación de un 10-15% de la DQO.
Datos económicos	<p>Diámetro del DAF: 9.5 m Caudal de diseño: 350 m³/h Carga sólidos de entrada: 70 kg/h Inversión para el DAF: 253.000 € Coste total incluyendo bombas, tuberías, instalación, etc.: 380.000 € Coste de operación: 100.000 €/año aproximadamente.</p> <p>Ahorros: El motivo para la aplicación de esta medida es mejorar la calidad de las aguas de proceso en circuitos bastante cerrados, para evitar que la acumulación de contaminantes afecte al proceso de fabricación y/o a la calidad del producto final. Como consecuencia de dicha mejora se pueden reducir el número de roturas y el número de paradas para limpieza de la máquina.</p>

Caso Práctico 11	8.1.11. Recuperación y reciclaje de productos de estucado
Empresas	Torraspapel, Fábrica de Sant Joan les Fonts
País	ESPAÑA
Producción	Papel estucado a partir de fibra virgen.
Problemática medioambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado contenido en sólidos de las aguas residuales tratadas en la depuradora. • Elevada producción de fangos. • Pérdida de materias primas.
Objetivo	Recuperación del vertido de la 6ª fase de la depuración ciclónica de la máquina de papel.
Medida a aplicar	Instalación de un molturador para la recuperación de la materia sólida presente en el recorte de estucado separado en los rechazos de los ciclones de máquina.

<p>Descripción del proceso y antecedentes</p>	<p>La suspensión acuosa de la mezcla de componentes para la fabricación del papel, antes de entrar en la máquina de papel propiamente dicha, pasa por un proceso de depuración para separar las impurezas que pueda contener.</p> <p>Esta depuración se realiza mediante un sistema de ciclones en los que por centrifugación, se separan las partículas pesadas del fluido. El sistema es multietapa en cascada; es decir que el rechazo de la primera etapa se depura en una segunda, el aceptado de la segunda vuelve a entrar en la primera, y su rechazo va a tratarse en la tercera etapa y así sucesivamente. En la depuración de la máquina de Sant Joan hay un total de seis etapas.</p> <p>El rechazo de la 6ª fase de la depuración contiene esencialmente recorte de estucado, con abundante proporción de cargas minerales, en suspensión con agua, y que, por su peso y tamaño son rechazadas en la misma y no pueden reciclarse tal como salen. Por lo cual es un vertido que se produce y que va a la depuradora.</p> <p>El objetivo es reutilizar completamente este vertido y reintroducirlo como carga mineral en el circuito de la máquina de papel.</p>
<p>Descripción de la actuación</p>	<p>Se ha probado un molturador fabricado por la casa austriaca GAW, en planta piloto, para comprobar su efectividad en el tratamiento de las cargas del papel. Después de pruebas efectuadas en dicha planta piloto, se ha constatado la eficacia de este sistema, que permite ahorrar en materias primas y reduce el vertido de la fábrica, con las ventajas adicional de una reducción en los costes de tratamiento de vertido y una menor producción de residuos sólidos, lo que permite alargar la vida útil del vertedero.</p> <p>Se trata de una instalación de molturación, equipada con un depósito de alimentación, un molturador, un depósito de salida y las correspondientes bombas, agitadores y elementos de automatización para el funcionamiento automático desde el sistema de control distribuido de la máquina de papel.</p>
<p>Descripción de la instalación</p>	<p>La instalación consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un depósito de 400 L, con agitación y control de dilución, para recepción del vertido de la 6ª fase del proceso de depuración de la máquina. • Bomba de envío al molturador. • Un sistema de molturación que trata todo el vertido, reduciendo y unificando el tamaño de partículas. • Un depósito de salida, para efectuar la dosificación en continuo en máquina. • Bomba de dosificación a máquina de papel. • Las correspondientes tuberías para conducción de fluidos, válvulas manuales y automáticas. • Instrumentación para medida de caudal y nivel. <p>La instalación es completamente automática y su funcionamiento y control está integrado en el DCS de la máquina de papel (ver Figura 8.9.).</p>

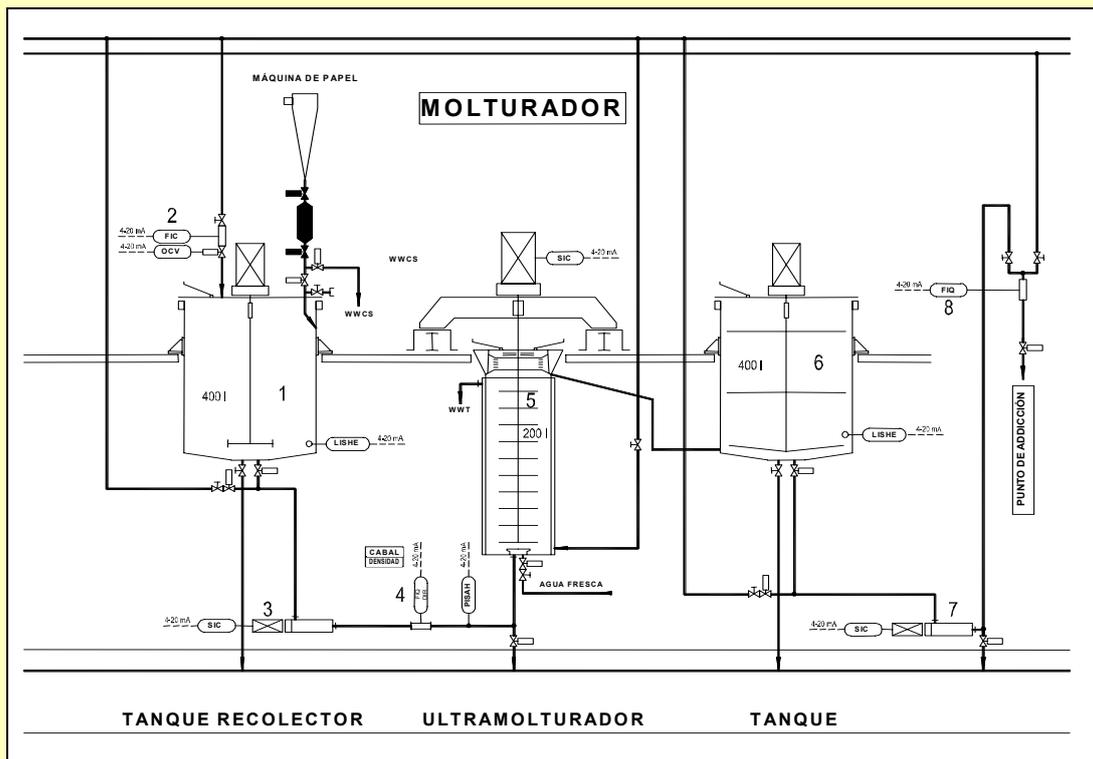


Figura 8.9. Esquema de la instalación de molturación de Torraspapel.

Resultados obtenidos

Como se ha descrito anteriormente, esta instalación permite la recuperación de materia sólida al circuito de la máquina de papel.

Es por tanto un reciclaje directo de materias primas, esencialmente fibras, carbonato cálcico y otras cargas minerales. Este reciclaje repercute ecológicamente en:

- Menor utilización de materias primas para fabricar una tonelada de papel.
- Disminución de los sólidos del vertido que va a depuradora con el consiguiente aumento del rendimiento de los equipos de depuración y aumento de la calidad de las aguas depuradas.
- Significativa disminución de los fangos extraídos por la depuradora, consiguiendo con ello la prolongación de la vida útil del vertedero controlado, dónde finalmente se depositan.

Aspectos económicos

La valoración del coste de la inversión es de 435.000 euros:

El cálculo de la aportación se basa en la recuperación y reciclaje de las materias primas. El material recuperado tiene la siguiente composición:

- 11,5% materia orgánica
- 88,5% materia mineral

Al ahorro en el coste de compra ha de sumarse el ahorro en el coste de tratamiento en la depuradora y vertedero, según el siguiente cuadro:

AHORRO MATERIAS PRIMAS	(Kg/día)
Materia Orgánica	644
Materia Mineral	4.956
TOTAL	5.600 Kg/día

<p>Este ahorro representa, al coste de las materias: 511,00 euros al día</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td colspan="2">AHORRO COSTES TRATAMIENTO (euros /t seca vertida)</td> </tr> <tr> <td>Coste productos químicos depuradora</td> <td>45,1</td> </tr> <tr> <td>Coste transporte de fangos</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>Coste vertedero</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>55,6 €/t seca vertida</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin-left: 20px; margin-top: 10px;"> <tr> <td colspan="2">APORTACIÓN ANUAL:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Considerando que se recuperan 5.6 t/día de materia seca, (5,6 t/d x 55,6 €/t + 511 €/d) x 355 d/año = 291.937 €/año</td> </tr> </table> <p>Por lo tanto, el retorno de inversión para esta instalación es: 435/292 = 1,48 años.</p>	AHORRO COSTES TRATAMIENTO (euros /t seca vertida)		Coste productos químicos depuradora	45,1	Coste transporte de fangos	5,5	Coste vertedero	5,0	TOTAL	55,6 €/t seca vertida	APORTACIÓN ANUAL:		Considerando que se recuperan 5.6 t/día de materia seca, (5,6 t/d x 55,6 €/t + 511 €/d) x 355 d/año = 291.937 €/año	
AHORRO COSTES TRATAMIENTO (euros /t seca vertida)														
Coste productos químicos depuradora	45,1													
Coste transporte de fangos	5,5													
Coste vertedero	5,0													
TOTAL	55,6 €/t seca vertida													
APORTACIÓN ANUAL:														
Considerando que se recuperan 5.6 t/día de materia seca, (5,6 t/d x 55,6 €/t + 511 €/d) x 355 d/año = 291.937 €/año														

Caso Práctico 12	8.1.12. Instalación de variadores de frecuencia al motor de la bomba del foso de la máquina de papel
Empresa	Echezarreta
País	ESPAÑA
Producción	28.000 t/a de varios tipos de papel a partir de papel recuperado.
Problemática medioambiental	Elevado consumo de energía eléctrica.
Objetivo	Obtener ahorros de energía.
Medida a aplicar	<p>La medida consiste en:</p> <ol style="list-style-type: none"> Utilización de variadores de frecuencia. Son aconsejables para los motores que tengan que trabajar a diferentes regímenes de carga. Al igual que los arrancadores, permiten suavizar la corriente eléctrica de arranque, pero tienen la ventaja adicional de permitir trabajar a los grupos motobomba en el punto de rendimiento óptimo. A más largo plazo la empresa se podría plantear la sustitución de los motores más antiguos y de peor rendimiento por motores diseñados para obtener un mayor ahorro energético. Estos motores requieren de menos energía para la misma potencia cuando se comparan con los motores convencionales. La alta eficiencia de estos motores implica bajos requerimientos energéticos y grandes reducciones en los costes de operación. Por tanto, estos motores se amortizan rápidamente.
Resultados obtenidos	Se obtiene una reducción del 0,4% del consumo eléctrico.
Aspectos económicos	<p>Balance económico aplicado en el caso de la instalación del variador de frecuencia al motor de la bomba del foso de la máquina de papel:</p> <p>Inversión (Variador para un motor de 30 kW): 4.700 €.</p> <p>Costes adicionales anuales: 330 € (Costes de financiación: 240 € + Costes de mantenimiento: 95 €).</p> <p>Reducción de costes anuales (ahorro en el consumo eléctrico): 5.713 €</p> <p>Ahorros totales anuales: 5.385 €</p> <p>Periodo de amortización: 0,87 años</p>

8.2. CASOS PRÁCTICOS DE TRATAMIENTOS FINALISTAS

Caso Práctico 13	8.2.1. Instalación de una depuradora de tratamiento primario
Empresa	Planta de tratamiento fisicoquímico de industria papelera (Fuente: IHOBE)
País	ESPAÑA
Producción	31.000 t/a de papel soporte autocopiativo a partir de pasta química blanqueada.
Problemática medioambiental	Elevada carga contaminante del vertido.
Objetivo	Reducir la carga contaminante del vertido.
Medida a aplicar	<p>Dentro del estudio para implementar una depuración de las aguas en la empresa y no mandar las aguas residuales a la EDAR, se ha considerado una posibilidad intermedia, consistente en realizar una depuración primaria de las aguas en la fábrica y mandar las aguas tratadas a la EDAR.</p> <p>Esta posibilidad es interesante porque la planta de tratamiento primario es relativamente sencilla y conlleva una inversión mucho menor que si se considerase también un tratamiento secundario. El tratamiento primario permitiría reducir considerablemente los sólidos en suspensión y la DQO de las aguas tratadas que podrían tratarse sin dificultad, posteriormente, en la EDAR.</p> <p>La instalación del tratamiento primario lleva consigo la generación de un nuevo residuo: los lodos retirados de las aguas residuales. Este residuo es, en principio, inerte, pero ha de ser gestionado correctamente, bien depositándolo en vertedero, bien revalorizándolo, por ejemplo, en cementeras o en la fabricación de ladrillos). De todas formas la cantidad de lodo que se generaría sería pequeña.</p>
Resultados obtenidos	Separación de sólidos en suspensión del vertido, constituido fundamentalmente por fibras y finos.
Aspectos económicos	<p>Balance económico:</p> <p>Inversión (depuración de tratamiento primario): 360.600 €.</p> <p>Costes adicionales anuales: 24.000 € (Correspondientes a los costes de funcionamiento).</p> <p>Reducción de costes anuales: 114.192 € (Correspondientes al menor vertido de aguas residuales y a la reducción de la carga contaminante del vertido en un 60%).</p> <p>Ahorros totales anuales: 90.192 €</p> <p>Periodo de retorno de la inversión: 4 años</p>

Caso Práctico 14	8.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales																																																				
Empresas	PALOMA Sladkogorska tovarna papirja http://www.paloma.si/palomaeng																																																				
País	SLOVENIA																																																				
Producción	Papel tisú de distintas calidades (papel higiénico, toallitas, servilletas,...) a partir de papel recuperado (53.000 t en el 2003) y fibra virgen (23.500 t en el 2003). <ul style="list-style-type: none"> • Papel CB (100% fibra virgen). • Papel TT (fibra virgen/papel recuperado). • Papel AP (100% papel recuperado). • Papel PP (100% papel recuperado). 																																																				
Problemática medioambiental	Contaminación del río Mura debido al vertido de las aguas residuales de la fábrica de papel. Elevado consumo específico de agua.																																																				
Objetivo	Instalar una planta de tratamiento de las aguas residuales del proceso para minimizar el impacto de su vertido.																																																				
Medida a aplicar	Para minimizar el impacto medioambiental producido por el vertido del efluente de la planta se consideraron necesarias las siguientes actuaciones: <ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento físico-químico de las aguas residuales seguido de un tratamiento biológico aerobio. • Desgote de los lodos físico-químicos mediante un tratamiento físico-químico. • Espesamiento de los lodos biológicos. • Mejora de la calidad de las aguas de proceso mediante la instalación de microfiltros, para reutilizar parte de las mismas y reducir el consumo de agua. 																																																				
Resultados obtenidos	Las mejoras conseguidas con los tratamientos implantados se resumen a continuación: <table border="1" data-bbox="518 1440 1377 2011"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>BAT ref.</th> <th>Antes del tratamiento AR (2002)</th> <th>Después del tratamiento biológico (2003)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DQO (kg O₂/t)</td> <td>2 - 4</td> <td>34,2</td> <td>2,96</td> </tr> <tr> <td>DBO₅(kg O₂/t)</td> <td>0,05-0,5</td> <td>8,8</td> <td>0,37</td> </tr> <tr> <td>SST (kg/t)</td> <td>0,1 – 0,4</td> <td>32,4</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>AOX (kg Cl/t)</td> <td>< 0,005</td> <td>0,02</td> <td>0,0029</td> </tr> <tr> <td>N total (kg N/t)</td> <td>0,05-0,25</td> <td>0,29</td> <td>0,06-0,09</td> </tr> <tr> <td>P total (kg P/t)</td> <td>0,005-0,015</td> <td>0,016</td> <td>0,004-0,009</td> </tr> <tr> <td>Cd (g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>Cr (g/t)</td> <td></td> <td>7</td> <td>0,289</td> </tr> <tr> <td>Ni(g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>Pb(g/t)</td> <td></td> <td>2</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Zn(g/t)</td> <td></td> <td>111</td> <td>7,70</td> </tr> <tr> <td>Efluente (m³/t)</td> <td>8 - 25</td> <td>29,7</td> <td>25,1</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	BAT ref.	Antes del tratamiento AR (2002)	Después del tratamiento biológico (2003)	DQO (kg O ₂ /t)	2 - 4	34,2	2,96	DBO ₅ (kg O ₂ /t)	0,05-0,5	8,8	0,37	SST (kg/t)	0,1 – 0,4	32,4	0,3	AOX (kg Cl/t)	< 0,005	0,02	0,0029	N total (kg N/t)	0,05-0,25	0,29	0,06-0,09	P total (kg P/t)	0,005-0,015	0,016	0,004-0,009	Cd (g/t)		2	0,08	Cr (g/t)		7	0,289	Ni(g/t)		2	0,07	Pb(g/t)		2	0,13	Zn(g/t)		111	7,70	Efluente (m ³ /t)	8 - 25	29,7	25,1
Parámetro	BAT ref.	Antes del tratamiento AR (2002)	Después del tratamiento biológico (2003)																																																		
DQO (kg O ₂ /t)	2 - 4	34,2	2,96																																																		
DBO ₅ (kg O ₂ /t)	0,05-0,5	8,8	0,37																																																		
SST (kg/t)	0,1 – 0,4	32,4	0,3																																																		
AOX (kg Cl/t)	< 0,005	0,02	0,0029																																																		
N total (kg N/t)	0,05-0,25	0,29	0,06-0,09																																																		
P total (kg P/t)	0,005-0,015	0,016	0,004-0,009																																																		
Cd (g/t)		2	0,08																																																		
Cr (g/t)		7	0,289																																																		
Ni(g/t)		2	0,07																																																		
Pb(g/t)		2	0,13																																																		
Zn(g/t)		111	7,70																																																		
Efluente (m ³ /t)	8 - 25	29,7	25,1																																																		

	<p>En resumen se observa que se ha reducido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • en un 15% el consumo específico de agua, • en mas del 90% la DQO del efluente final de la planta, • en un 96% la DBO, • en un 99% los sólidos totales y • en un 67% los vertidos de N.
Aspectos económicos	<p>Inversión total: 4.200.000 €</p> <p>Costes de operación: 835.000 €/año</p> <p>Ahorro: 1.195.000 €/año</p> <p>Tiempo de retorno de la inversión: 10 años</p>

Caso Práctico 15	8.2.3. Tratamiento de efluentes mediante el uso de ozono
Empresa	Buettenpapierfabrik Gmund; PYME, 5.000 t/año
Problemática medioambiental	Vertido de corrientes residuales con elevado contenido en DQO y con una posible reciclabilidad.
Objetivo	Reducir el volumen de efluentes en la fabricación de papel y reutilizar el agua de fabricación de papel.
Descripción del proceso y antecedentes	<p>Se trata de una fábrica de pequeño tamaño, 5.000 t/año, en la que se fabrica papel fino coloreado en dos máquinas de papel (Figura 8.10).</p> <p>Figura 8.10. Situación inicial.</p>

	<p>Debido al proceso de coloración las aguas contaminantes presentan un elevado contenido de contaminantes. El agua resultante del espesado de los lodos de depuradora se vertía directamente, sin ser reutilizada, con lo que el vertido presentaba un elevado contenido en DQO. El caudal de vertido ascendía a cerca de 29 m³/por tonelada de papel fabricado.</p>
<p>Medida a aplicar</p>	<p>Tratamiento del agua clarificada en el proceso de flotación de las aguas blanca de las máquinas de papel por filtración, en un filtro de discos a presión, y posterior ozonización para su reutilización en el proceso, evitando así su vertido (Figura 8.11).</p> <p>Figura 8.11. Proceso tras la adopción de la medida.</p>
<p>Resultados obtenidos</p>	<p>Con el tratamiento implantado en la fábrica de Gmund se lograron buenos valores de decoloración de aguas ($L^* > 97$) con dosificaciones de O₃ entre 20 y 55 g/m³ para aguas poco coloreadas y de 65 a 80 g/m³ para aguas coloreadas intensamente.</p> <p>El pH disminuye ligeramente pero se mantiene dentro del intervalo 8.0 – 7.0, lo que resulta aceptable en muchos casos.</p> <p>Se obtiene una ligera reducción en la conductividad (50 µS/cm).</p> <p>Gracias al tratamiento propuesto se ha reducido el caudal del efluente hasta 14 m³/t, lo que corresponde a un 52%. Asimismo se ha reducido en un 58% la DQO y en un 86% los sólidos totales del vertido final.</p>

	Además de estos efectos, se logra una reducción en el consumo de aditivos de desgote para los lodos de unas 20 t/año, con la ventaja adicional de reducir el efecto ambiental que produce el vertido de este tipo de productos.
Aspectos económicos	<p>Inversión: 1.200.000 €</p> <p>Coste de tratamiento: varía entre 0.07 y 0.17 euros/m³ de agua tratada, de los cuales un 31% se deben a la etapa de ozonización y un 69% al filtrado a presión.</p> <p>Ahorro obtenido: 92.000 €/año de ahorro en costes de vertido.</p>

Caso Práctico 16	8.2.4. Valoración energética de lodos
Empresas	CARTIERE BURGO
País	ITALIA
Producción	Producción de 150.000 t/a de papel prensa con gramaje de 42 a 48,8 g/ m ² . Ancho útil de máquina: 7 m. Velocidad de máquina: 1.170 m/min.
Problemática medioambiental	Elevada generación de lodos, 340 toneladas día.
Antecedentes	<p>Esta planta de producción de pasta y papel destintado produce una elevada cantidad de lodos y rechazos, que podrían destinarse a la generación de vapor y/o electricidad, como una energía renovable, a la vez que se reduciría la deposición en vertedero.</p> <p>Los residuos generados corresponden a tres tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rechazos: Constituidos por papel, plástico, metales fibras y tejidos; que corresponden a aquellas impurezas del papel separadas en clasificación o en las primeras etapas de depuración. • Lodos de destintado: La proporción media de lodos de destintado es un 20% en M.S. sobre el papel de recuperación o del 25% sobre producto, también en M.S. • Lodos primarios: corresponden a los lodos separados en la etapa del tratamiento primario de las aguas residuales. • Lodos biológicos: constituidos por la purga de lodos en el tratamiento biológico de las aguas residuales. Por regla general, se estima que su producción, sobre base seca es del 65% al 70% de la masa de materia eliminada por vía biológica. <p>La fábrica de Cartiere Burgo de papel prensa a partir de papel recuperado, con una producción de 150.000 t/año, genera por término medio, 25.000 t/año de lodos de destintado. Estos lodos tienen un poder calorífico mínimo de 10.000 kJ/ kg, lo que supone $2,5 \cdot 10^8$ MJ de energía térmica.</p>
Medida a aplicar	La empresa ha optado por la tecnología de combustión de lecho fluidizado burbujeante, BFB (Bubbling Fluidised Bed). La combustión de lodos de destintado requiere una tecnología especial que permita una operación flexible y la recuperación de los bajos poderes calóricos de los lodos. La combinación de secado, con calores residuales, y la combustión en lecho fluidizado burbujeante, "bubbling fluidised bed" ó BFB, constituye la solución

más empleada en las plantas actuales ya que permite trabajar con combustibles de bajo poder calorífico y altos contenidos de humedad (Figura 8.12.).

La caldera genera vapor de agua recalentado, que se expande en una turbina para generar energía eléctrica.

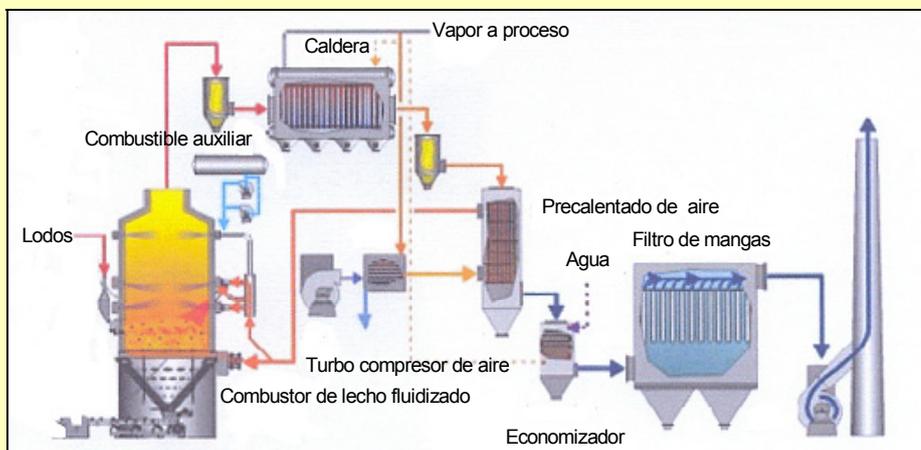


Figura 8.12.- Combustión y generación de vapor en una caldera BFB.

La solución propuesta está considerada como ambientalmente favorable, por permitir la utilización de una materia prima, de origen vegetal (fibras de celulosa degradadas o no recuperables), como combustible alternativo. Esta técnica ha permitido obtener como promedio más de 50 millones de kWh/a. Siendo la producción de energía de 3,2 MWe, 14 t/hora de vapor a 52 bares y 430 °C.

Reducción en un 80% de los residuos producidos, que quedan inertes, con posibilidad de usos en otras aplicaciones.

Las emisiones de gases presentan concentraciones de contaminantes por debajo de los límites de emisión. La tabla 8.4 recoge datos publicados de la planta de Cartiere Burgo en Mantova (Italia).

Tabla 8.4. Emisiones de gases.

Resultados obtenidos

Contaminante	Unidades	Emisión
Partículas	mg/m3N	19,7
SO ₂	kg/h	1,46
NO _x	ppm	74
HCl	kg/h	3,86
NH ₃	ppm	11,9
CO	ppm	<1.2
VOCs como metano	ppm	<1,5
VOCs como carbono	ppm	<1,6
PCBs	ng/m3	<2,8
PCDD/PDCF	ng/m3	0,54
Opacidad	%	0

Aspectos económicos	<p>La inversión efectuada ha sido de 9 millones de euros.</p> <p>El valor de la los beneficios derivados de la generación eléctrica, a los precios convencionales de la energía en la industria, es de 1,9 millones de euros/año, que proporciona un periodo de retorno de la inversión de 4,7 años.</p>
Conclusiones	<p>La valorización energética de lodos es una alternativa económica y ambientalmente interesante, aplicable a fábricas de pasta destintada de DIP con una producción de 100.000 t/año o superior.</p> <p>La implementación de una planta de tratamiento de valorización energética de lodos y otros residuos papeleros pasa por una caracterización de los lodos de destintado y del inventario de otros residuos, para constituir un pull de residuos que permita la determinación de los recursos térmicos disponibles.</p> <p>A mayores producciones, aumenta la capacidad de la planta que puede instalarse, lo que representa mayores beneficios tanto económicos como ambientales.</p> <p>Con capacidades menores a 100.000 t/año cabe la posibilidad de que la alternativa de recuperación energética de los lodos de destintado, unido a otros lodos fisicoquímicos o biológicos y a otros residuos papeleros, resulte económicamente rentable. Pero requerirá un estudio previo más detallado. Probablemente sea rentable en pastas DIP para papel tisú.</p>
Otros ejemplos de aplicación	<p>La empresa Cartiere Burgo dispone de dos plantas para la generación de energía, una en Mantova (Italia) con una capacidad de 3,2 MW y la segunda en Verzuolo (Italia) con capacidad de 7 MW, ambas de tecnología de combustión de lecho fluidizado burbujeante (BFB).</p> <p>La planta de DIP de la Honsha Mill Fuji, del grupo Daishowa Paper Manufacturing Co Ltd, puso en funcionamiento, en abril del 2000, una planta de recuperación energética, de tecnología de combustión BFB, con una capacidad de generación de vapor de 65 t/h, que proporciona una potencia de 14,5 Mwe.</p> <p>La papelera de Golbey (Francia) tiene una planta de cogeneración donde emplea lodos y otros residuos, permite tratar 400 t/día de materia seca con una capacidad de 90 Mwt. Emplea también la tecnología de combustión del lecho fluidizado burbujeante (BFB).</p> <p>La papelera Sachsen, utiliza una caldera de lecho fluidizado burbujeante (BFB) para quemar lodos de destintado y rechazos de papel, con un contenido de cenizas del 51% y un 55% de humedad. La planta tiene una capacidad de generación de 196 t/día de sólidos y 39,6 t/hora de vapor, trabajando en condiciones de 84 bares y 490 °C.</p> <p>Otras compañías como, Cross Pointe Paper Corporation (Wisconsin), han optado también por la valorización energética de los residuos papeleros empleando la tecnología BFB, lo que pone de manifiesto la versatilidad del BFB para la recuperación energética de lodos, que ofrece ventajas sobre otros procesos como el lecho fluidizado circulante (CFB).</p>

8.3. OTROS EJEMPLOS DE BUENA GESTIÓN AMBIENTAL

Caso Práctico 17	8.3.1. Planteamiento sistemático para la óptima gestión del agua
Empresas	Grupo de 30 fábricas de papel en la región de Tuscany en Italia
Dirección	Resultados del proyecto europeo PAPERBREF EVK1-2000-200690 llevado a cabo por Lucense, PTS, CTP, ARPAT y Serv.Eco Srl. http://www.paperbref.info
Producción	14 fábricas de papel tisú a partir de fibra virgen. 3 fábricas de papel tisú a partir de papel recuperado. 12 fábricas de papel de embalar a partir de papel recuperado. 1 fábrica de papel
Problemática medioambiental	Elevado consumo de agua en las fábricas de papel y cartón.
Procedimiento	<p><u>Datos de partida</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de la situación actual de la planta: usos del agua, caudales y circuitos de agua. • Diagrama de flujo del proceso con los consumos de agua y las recirculaciones existentes. • Análisis de las aguas para determinar la acumulación de materia orgánica e inorgánica al cerrar los circuitos de agua. • Estimación del impacto de la calidad físico-química de las aguas sobre el proceso. <p><u>Análisis de los datos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimación del potencial de reducción de agua fresca. Determinación de las pérdidas de aguas reutilizables. • Alternativas para la modificación de los circuitos para mejorar la gestión del agua sin afectar al proceso ni a la calidad del producto final, considerando mejoras en la utilización, el consumo y la calidad del agua.
Métodos	<p><u>Métodos que no afectan a la carga de contaminantes en el proceso:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de aguas de refrigeración (hasta 6 m³/t): reutilización de estas aguas no contaminadas en otros puntos del proceso de producción. • Preparación de aditivos con agua fresca y dilución de los mismos, cuando sea necesario con aguas de proceso. • Disminución del caudal de aguas de sellado: existen alternativas de los fabricantes de bombas para un menor consumo de agua de sellado como, por ejemplo, el sellado mecánico. • Circuito cerrado de aguas de sellado de bombas de vacío con tratamiento de refrigeración y de eliminación de sólidos. • Identificación de pérdidas de agua fresca a lo largo del proceso. <p>Para cerrar los circuitos de aguas y minimizar los potenciales efectos negativos es necesario mantener la estabilidad del proceso y evitar la</p>

	<p>contaminación del producto para ello se debe considerar:</p> <ul style="list-style-type: none">• Adecuar la capacidad de almacenamiento de pastas, aguas y rotos. Control de derrames accidentales.• Gestión adecuada de los rotos separando el circuitos de aguas blancas del circuito de rotos para evitar inestabilidades en la parte húmeda de la máquina.• Clarificación de las aguas de proceso previa a su reutilización para producir aguas clarificadas con un bajo contenido en sólidos que se puedan reutilizar: recuperadores de fibras eficaces para eliminar sólidos en suspensión como los filtros de discos, y unidades de flotación DAF para eliminar sólidos en suspensión y materia coloidal con la ayuda de un proceso de coagulación/floculación.• Separación de circuitos. Es especialmente importante en plantas integradas donde se deben tener 1-3 circuitos en la zona de preparación de pastas y 1 circuito para la máquina de papel.• Reutilización del agua en contracorriente con el flujo de fibras. Este aspecto es fundamental en plantas integradas para evitar una elevada carga de contaminantes orgánicos en el circuitos de aguas de la máquina de papel. <p>El cierre de circuitos de aguas reduce el caudal de aguas residuales pero aumenta su carga contaminante por lo que es necesario un tratamiento adecuado de dichas aguas para alcanzar las especificaciones de los vertidos.</p> <p>Para ello se deben considerar las siguientes alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none">• Tanque de homogeneización de aguas residuales.• Tratamiento primario: tratamiento físico-químico por flotación o sedimentación para eliminar sólidos en suspensión hasta valores de 30-200 mg/L. Los lodos después del desgate pueden incinerarse o utilizarse en agricultura.• Tratamiento secundario si es necesario para eliminar materia orgánica. Normalmente un tratamiento aerobio es suficiente pero si la carga orgánica es muy elevada y se necesitan dos etapas se puede llevar a cabo un tratamiento anaerobio previo.• Tratamiento terciario, por ejemplo precipitación química, si es necesario eliminar algún contaminante específico como fósforo, sólidos en suspensión o materia disuelta y coloidal orgánica. <p>Para cerrar casi totalmente los circuitos de aguas se deben considerar las tecnologías emergentes como sistemas de tratamiento interno de las aguas de proceso previo a su reutilización. La integración de estas tecnologías requiere una importante inversión, aumenta los costes de operación y aumenta la generación de rechazos y lodos. En algunos casos la viabilidad económica de estas tecnologías aún no está demostrada.</p> <p>Existen distintas tecnologías que eliminan sólidos, sales y materia orgánica como se observa en la figura 8.14.</p>
--	---

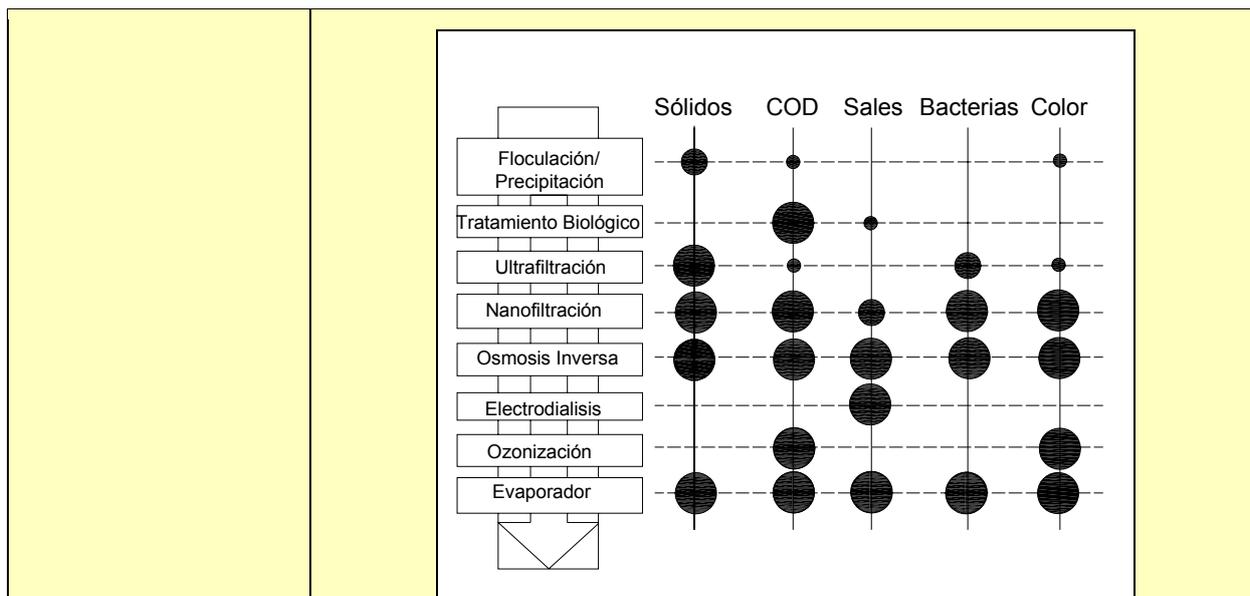


Figura 8.14.- Tecnologías de eliminación de sólidos, sales y materia orgánica (El tamaño de la burbuja está relacionado con la eficacia del tratamiento).

Conclusiones

En la figura 8.15. se muestra la proporción de los diferentes métodos con potencial para reducir el consumo de agua descritos en el BREF.

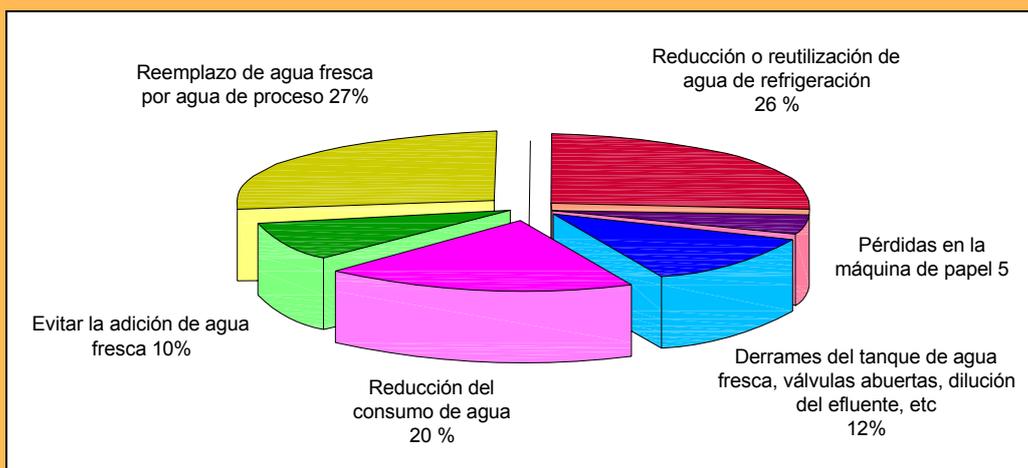


Figura 8.15.- Métodos con potencial para reducir el consumo de agua. Fuente: BREF.

Caso Práctico 18	8.3.2. Medidas de prevención y reducción de emisiones en una fábrica de papel prensa a partir de papel recuperado
Empresa	Holmen Paper Madrid (HPM)
Dirección	ESPAÑA
Producción	MP61: 200.000 t/año de papel prensa o papel estucado LWC. MP62: 300.000 t/año de papel prensa.
Problemática medioambiental	Control integrado de la contaminación en la planta para adaptarse a la legislación vigente (IPPC- Ley de Prevención y Control Integrados de la Contaminación).

Procedimiento	Estudio de las tecnologías descritas en el BREF (Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry). Selección de las tecnologías adecuadas al proceso de HPM. Adaptación e integración de las Alternativas de Producción Limpia (APL) descritas en el BREF al proceso. Estudio de nuevas alternativas.
ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN LIMPIA (APL) GENERALES	
<u>Formación, educación, motivación y sensibilización al personal y operadores</u>	
<p>HPM elabora anualmente un plan de formación que engloba las necesidades de formación detectadas en cada uno de los departamentos de la empresa. Este Plan incluye además sensibilización para todo el personal sobre la gestión medioambiental de la empresa y cómo cada puesto de trabajo repercute en el impacto global.</p> <p>Siempre que se llevan a cabo nuevos procesos o se implantan nuevas tecnologías o sistemas, se forma específicamente al personal directamente implicado.</p> <p>La sensibilización se proporciona mediante cursos, charlas, carteles divulgativos, notas internas, así como a través de la publicación mensual de la revista de la empresa.</p>	
<u>Optimización del control de los procesos</u>	
<p>Para conseguir una alta eficacia en la fabricación del papel es muy importante que el proceso sea estable y la calidad uniforme. Estas características son también importantes desde el punto de vista medioambiental. La inestabilidad puede causar roturas de la hoja y, en consecuencia, perturbaciones en los circuitos de agua. Las mediciones en continuo y el control preciso de los procesos son esenciales.</p> <p>Las principales áreas donde es importante este control son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control del filtro de discos (<i>save all</i>), con objeto de controlar la pérdida de fibras y disminuir la carga de los efluentes de cara a su reutilización en las regaderas de máquina. Para ello HPM dispone de un sistema adicional de depuración y recuperación de fibras por flotación (DAF) que trata el filtrado superclaro del filtro de discos. El efluente de salida de este DAF es utilizado en determinadas regaderas. La turbidez de este efluente se controla en laboratorio. Además, para garantizar el buen funcionamiento del filtro de discos, se controla la consistencia de la pasta a la entrada del polidisco. • Control de la consistencia en la tina de mezcla, para disminuir las variaciones de calidad que entran a la máquina. <p>HPM controla tanto la consistencia como el caudal de todos los aportes que llegan a la tina de mezcla, que son: la pasta procedente del sistema de rotos, la pasta del filtro de discos y la pasta procedente de cada una de las líneas de destintado.</p> <p>Además de dichos controles, para cada una de las etapas del proceso se han fijado parámetros de control que permiten asegurar que aquél se desarrolla en la forma deseada.</p> <p>Para ello, existen procedimientos e instrucciones en los que se definen los parámetros con los que ha de ejecutarse el proceso. Y para garantizar que esto es así existen medidores en línea de distintos parámetros (pH, temperatura, sólidos en suspensión, conductividad, consistencia...) cuya señal es transmitida a los monitores de la sala de control. Además, se realizan diariamente controles de laboratorio tanto para medir parámetros que no tienen detectores <i>on line</i>, como para contrastar los anteriores.</p> <p>Se dispone también de procedimientos para la calibración de todos los aparatos que miden tanto parámetros de proceso y propiedades del papel, como parámetros ambientales.</p>	

Correcto mantenimiento de las instalaciones

El mantenimiento que se lleva a cabo en las instalaciones de Holmen Paper Madrid es de tres tipos: predictivo, preventivo y correctivo.

El mantenimiento predictivo engloba los métodos para toma de muestras y análisis de los aceites lubricantes de los distintos equipos de fábrica, con el objetivo de mantenerlos en las mejores condiciones posibles para optimizar su rendimiento y el de los equipos mecánicos, así como para optimizar la generación de aceites usados.

El mantenimiento preventivo engloba desde operaciones simples como la toma de datos, limpieza, engrase, etc., hasta operaciones complejas de montaje de desmontaje de equipos y elementos, cambios sistemáticos de piezas de desgaste, etc. Estas operaciones están recogidas en gamas, cada una de las cuales tiene asignada una frecuencia específica.

Estos dos tipos de mantenimiento son los fundamentales para que todos los sistemas y equipos funcionen adecuadamente. No obstante, existe un tercer tipo de mantenimiento: el correctivo, que evidentemente persigue reparar las anomalías detectadas en el preventivo o por fallos inesperados en equipos, instrumentos, mecanismos, etc.

Para llevar a cabo las tareas de mantenimiento señaladas se cuenta con un departamento de mantenimiento, dividido en distintas especialidades (mecánico, eléctrico, preventivo, instrumentación y control) cuyo personal dispone de la capacitación y medios adecuados para llevar cabo las tareas encomendadas. Aquellas tareas de mantenimiento que no pueden ser desarrolladas por la empresa se subcontratan a empresas especializadas, y en su caso autorizadas, para los trabajos solicitados.

Sistema de gestión medioambiental

Holmen Paper Madrid dispone de un Sistema de Gestión Medioambiental basado en la norma UNE-EN ISO 14001 certificado con fecha 16 de septiembre de 2002 por la entidad acreditada AENOR.

La Política Medioambiental de la empresa es la base de dicho sistema. En ella la Dirección deja constancia de la orientación de la empresa hacia la prevención de la contaminación, el cumplimiento de los requisitos aplicables, la prioridad del respeto al medio ambiente en casos de crisis y la tendencia a la mejora continua en la gestión ambiental de la empresa.

El sistema de gestión medioambiental engloba, además de lo indicado en los puntos anteriores, todos los aspectos necesarios para asegurar que se cumple con la Política Medioambiental de la empresa.

Entre las ventajas y garantías que implica el sistema de gestión medioambiental se pueden destacar las siguientes:

- Se encuentran identificados todos los aspectos ambientales asociados a las actividades de HPM que se desarrollan en sus instalaciones. Su incidencia ambiental se evalúa anualmente en función de criterios definidos y a partir de datos concretos. De esta manera se priorizan los aspectos, de modo que los que resulten más relevantes sean tenidos en cuenta de forma prioritaria a la hora de fijar los objetivos anuales.
- Se dispone de medios para acceder a la legislación medioambiental aplicable tanto a los aspectos identificados como a las actividades realizadas y previstas. Se identifican los requisitos derivados y se recogen en bases de datos.
- Se definen objetivos anuales con programas concretos que permiten ir mejorando continuamente la gestión.
- Se tienen documentadas en forma de procedimientos o instrucciones todas aquellas operaciones de gestión ambiental que han de llevarse a cabo de una determinada manera

para asegurar que ésta es adecuada (por ejemplo: gestión de residuos, control de efluentes, control de emisiones, operaciones específicas de limpieza...).

- Se tienen definidos los responsables de llevar a cabo las distintas tareas y funciones dentro del sistema.
- Se garantiza la formación sobre temas medioambientales del personal cuyas tareas pueden afectar directamente al medio ambiente y la sensibilización de todo el personal para con el medio ambiente, de manera que todo el mundo sea consciente de determinadas actuaciones o situaciones de riesgo.
- Se realizan auditorias internas y externas del sistema que permiten detectar fallos y corregir desviaciones.

APL PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE AGUA

La generación de efluentes está estrechamente ligada al consumo de agua fresca, de ahí que las medidas tendentes a una reducción de las emisiones al agua pasen, en gran medida, por una reducción del consumo de agua fresca.

La reducción en el consumo de agua fresca se puede alcanzar con una serie de medidas que se traducen, en general, en una gestión óptima del agua que permita minimizar al máximo el consumo de agua fresca y permita a su vez mantener la calidad de agua necesaria en cada punto del proceso para que este se desarrolle adecuadamente y se consigan los requisitos de calidad del producto.

La mayor cantidad de agua fresca se consume en la máquina de papel, concretamente en las regaderas de la mesa, por lo que gran parte de las técnicas utilizadas y en desarrollo persiguen la reducción del consumo de agua fresca en esos puntos.

APL PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA FRESCA

Separación de las aguas más contaminadas de las menos contaminadas y reutilización de las aguas de proceso.

Una de las medidas de ahorro de agua fresca supone el separar las aguas menos contaminadas de las que más lo están, de modo que se posibilite el uso de aquéllas como sustitutas de agua fresca en los puntos en los que sea posible.

Por un lado, las aguas de refrigeración tienen un circuito independiente de las aguas de proceso. Para su reutilización se dispone de torres de refrigeración que permiten bajar su temperatura para ser usadas de nuevo, sin ser mezcladas con las de proceso y por tanto evitando ser contaminadas. La purga que permite mantener el balance en las torres se conduce al tanque de agua fresca.

Asimismo las aguas de sellado de las bombas de vacío disponen de un circuito independiente que permite su recuperación y reutilización mediante su enfriamiento en torres de refrigeración. No obstante, estas aguas arrastran fibras en el vacío por lo que se contaminan parcialmente, de ahí que la purga se conduzca a tanques de agua clarificada de proceso.

Por otro lado, todas las aguas de proceso son clarificadas en distintos puntos, como se verá más adelante, mediante el uso de filtros de discos y equipos de microflotación, que permiten la separación de aguas más o menos contaminadas y su reciclado posterior en función del nivel de calidad exigido en el punto de uso.

Gestión óptima del agua (adecuación de los circuitos), clarificación del agua por flotación y reciclado del agua para distintos fines.

Tanto las líneas actuales de fabricación de pastas (DIP2 y DIP3) como las futuras (DIP4 y DIP5) han sido diseñadas con dos lazos, de forma que al final de cada uno de ellos, mediante la

utilización de filtros de discos y prensas tornillo, la pasta es espesada y se recuperan grandes cantidades de aguas.

Los filtros de discos del destintado consiguen extraer aguas de dos calidades denominadas filtrado turbio y filtrado claro, siendo ambos reutilizados en el proceso, como por ejemplo en la dilución del papel recuperado utilizado como materia prima para la producción de pasta, así como en otros muchos puntos del proceso.

En la máquina de papel, tanto en la MP61 como en la prevista MP62, las aguas blancas obtenidas en la parte húmeda de la máquina de papel son depuradas mediante filtros de discos y sistemas de flotación (DAF) obteniéndose tres tipos de agua: turbia, clara y superclara. Las aguas claras y superclaras son usadas en distintas posiciones de la máquina de papel, incluyendo diversas regaderas de la parte húmeda, y para la dilución de productos químicos.

Ello permite que en dichos puntos pueda ser sustituida el agua fresca por agua reciclada, lo que globalmente en el proceso representa una disminución en el consumo de agua. Además también significa un ahorro de energía ya que no será necesario utilizar la misma energía para calentar el agua proveniente del proceso que si se utilizase agua fresca, al estar la primera a una temperatura significativamente superior.

En cualquier caso, este tipo de agua clarificada no es posible usarla en determinadas regaderas que se consideran puntos especialmente críticos, sobre todo en la sección de prensas.

Para intentar utilizar al máximo este agua, HPM ha llevado a cabo un proyecto de desarrollo para la utilización de técnicas de ultrafiltración para clarificar las aguas de proceso y así poder utilizarlas en algunas regaderas en las que hoy en día no es posible usarlas. Esta tecnología no se considera en la actualidad como APL sino como tecnología emergente.

Reducción en el consumo de agua fresca mediante una estricta separación en lazos junto con un flujo del agua en contracorriente

Como se indicó en el punto anterior, cada línea de pastas cuenta con dos lazos. El agua utilizada en cada uno de estos lazos junto con el agua utilizada en la máquina de papel fluye en contracorriente, esto es, que el flujo de las aguas blancas de la máquina de papel hacia la fábrica de pastas va en sentido contrario al flujo de la pasta.

Las aguas blancas son utilizadas para la dilución de la pasta en la tina de mezcla y en la tina de máquina y el exceso de agua clara en la máquina es enviado a la fábrica de pastas para su reutilización.

Los procesos están diseñados para evitar, tanto como sea posible, que el agua pase de la fábrica de pastas a la máquina de papel mediante filtros de discos y prensas al final del segundo lazo. De esta forma se minimiza el flujo de basura aniónica y materia coloidal o disuelta indeseable hacia la máquina de papel, evitando que estas sustancias puedan afectar más tarde al proceso.

Generación de aguas claras a partir de las aguas de proceso de la fábrica de pastas (flotación)

Todas las líneas de la fábrica de pastas, así como el agua de la parte húmeda de la máquina, cuentan con sistemas de flotación por aire disuelto DAF.

Con la ayuda de floculantes, la basura aniónica y los finos son aglomerados formando flóculos. Estos flóculos se adhieren a las burbujas de aire formadas en el DAF y son flotados a la superficie, siendo retirados mediante rasquetas. El agua clarificada es evacuada por la parte inferior del DAF.

La limpieza conseguida en el agua tras este tratamiento permite su reutilización una vez más en el proceso.

Control de las desventajas potenciales al cerrar los sistemas de agua

Para controlar las desventajas del cierre de circuitos caben destacar las siguientes medidas:

- Una buena separación de los lazos de modo que a la máquina llegue la menor cantidad posible de agua procedente de la planta de pastas.
- Un adecuado tratamiento de las aguas blancas que van a alimentar a la regaderas de máquina para que la suciedad no obture o desgaste el equipamiento de la máquina (tratamiento mediante DAF).
- Una refrigeración suficiente de las aguas de sellado de vacío mediante torres de refrigeración.
- La incorporación de la pasta a la máquina suficientemente lavada de modo que se reduzca el uso de químicos en la máquina como floculantes, coagulantes o bactericidas. Esto se consigue mediante el uso de prensas tornillo tras los filtros de discos en el destintado.
- Una adecuada monitorización de los circuitos de agua, lo cual se consigue a través de medidas en línea mediante instrumentos dispuestos en distintos puntos de los circuitos y medidas periódicas realizadas en laboratorio.

Mediante dichos sistemas el personal de fábrica puede realizar un seguimiento del estado de los procesos y evitar situaciones potencialmente problemáticas que impidan el correcto reciclado de las aguas de proceso.

Construcción de sistemas equilibrados de aguas blancas, aguas claras y rotos. Uso de construcciones, diseño y equipos con bajo consumo de agua

En caso de que se produzca una rotura prolongada, se dispone de un sistema de rotos que, mediante el uso del filtrado claro, permite diluir con el agua clarificada la pasta que cae a los pulper del sistema de rotos (situados debajo de la máquina y comunicados entre si). La pasta diluida es enviada a la tina de mezcla e incorporada de nuevo a la mesa.

La MP61 dispone de:

- Tanque filtrado claro (*save all*) de 1.500 m³
- Tina de rotos húmedos de 1.000 m³
- Tina de pasta espesa de 250 m³

La nueva Máquina de Papel 62 contará las siguientes tinas:

- Tanque filtrado claro (*save all*) de 4.000 m³
- Tina de rotos húmedos de 5.000 m³
- Tina de pasta espesa de 100 m³

Pretratamiento por separado de los efluentes provenientes de la preparación de estucado

La MP61 está preparada para la fabricación de papeles estucados. La preparación de la salsa de estucado en la cocina genera efluentes con pigmentos y ligantes provenientes de lotes de salsas de estucado que no es posible utilizar, restos de producciones y aguas de lavado. Estos efluentes son enviados a un pretratamiento que permite, por un lado, que no dañen al tratamiento biológico posterior y, por otro lado, reutilizar las materias resultantes de la depuración.

El tratamiento a emplear consiste en un sistema por ultrafiltración en el que el agua y los productos del estucado son separados con el uso de membranas semipermeables. Los poros

de las membranas sólo permiten el paso de moléculas de agua, iones metálicos, sales y monómeros del almidón, mientras que los otros componentes de la salsa de estuco, pigmentos y ligantes, son retenidos al ser demasiado grandes.

Una vez tratadas las aguas son enviadas al tratamiento primario y posteriormente al tratamiento biológico para su depuración.

Los pigmentos y ligantes recuperados pueden ser reutilizados en el proceso para la reducción de la generación de residuos (ver APL para reducir los residuos sólidos de estucado).

Selección de sustancias y productos químicos menos nocivos

La Empresa cuenta con un procedimiento de homologación de productos por el cual antes de poderse pedir un producto nuevo debe ser homologado por su departamento de Sistemas de Gestión, el cual es responsable asimismo de la gestión medioambiental. Para la homologación de los productos se tendrá en cuenta su biodegradabilidad, toxicidad y bioacumulación, solicitando dichos datos a cada proveedor.

Cuando dos productos comparables presenten técnica y económicamente resultados similares se elegirá aquél que suministre unos resultados medioambientalmente más correctos.

Medidas para reducir la frecuencia y efectos de los derrames accidentales

Todos los depósitos que almacenan productos químicos están dotados de medición de nivel y están dotados de un cubeto que recoja cualquier posible derrame accidental. Asimismo, los nuevos depósitos que sean construidos para la ampliación de la fábrica estarán dotados de sistemas de contención de derrames.

Las zonas de carga de productos químicos en las nuevas instalaciones serán diseñadas de forma que se evite que en caso de derrame accidental se pudiese alcanzar alguna red de aguas que pudiese permitir su salida: red de aguas pluviales, aguas negras o aguas de proceso.

Instrucciones específicas en caso de derrames han sido incluidas dentro del plan de emergencia de las instalaciones actuales y futuras. Además, se ha dado formación específica, y se continuará dando de forma regular, a los operadores de planta para que puedan reaccionar de forma correcta en estos casos.

Respecto a posibles derrames a las aguas de proceso que pudieran alcanzar la planta de tratamiento de efluentes, esta planta cuenta con un depósito de regulación con una capacidad de 1.500 m³ que permitiría almacenar ese derrame y dosificarlo posteriormente de forma controlada a la depuradora, de forma que no afectase en su funcionamiento. En la MP62 existirá un depósito para estas mismas funciones de 3.000m³.

APL PARA TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES

Instalación de un tratamiento primario para los efluentes

Antes del paso de los efluentes a la planta de tratamiento biológico, las aguas son sometidas a un tratamiento por flotación por aire disuelto, el cual permite la reducción del nivel de sólidos en suspensión y la carga orgánica de los mismos.

Las instalaciones actuales cuentan ya con una unidad de clarificación de los efluentes por flotación (denominado internamente DAF2) en donde se realiza dicho pretratamiento. Asimismo, las futuras instalaciones contarán también con otra unidad para el tratamiento de los nuevos efluentes que se generen.

El efluente clarificado es enviado a un depósito intermedio de 20 m³ desde el cual puede ser bombeado bien a algún punto del proceso en el que se demande o bien a la planta de tratamiento de efluentes.

Los sólidos o lodos retirados por el DAF son enviados a las unidades de espesado de lodos, aplicándoseles las mejores técnicas disponibles para extraer la mayor cantidad de agua posible y reducir así la generación de residuos sólidos, a la vez que se facilita su manejo posterior.

Instalación de un tratamiento biológico para los efluentes

En la MP61, tras el pretratamiento de los efluentes en el DAF2 las aguas son enviadas a la planta de tratamiento biológico. La fábrica cuenta con una planta de tratamiento biológico de tipo aeróbico mediante un sistema de fangos activos. Las aguas una vez tratadas alcanzan unos valores de sólidos en suspensión, DQO y DBO₅ que garantizan alcanzar un coeficiente de K=1, según la legislación española (K: factor en función de la carga contaminante, valor de K se multiplica al canon de vertido (€/m³)).

Las nuevas instalaciones generarán mayor cantidad de efluentes pero de las mismas características, por lo que se construirá una nueva planta de tratamiento biológico similar a la actual, con un tratamiento primario similar al actual. De forma conjunta las dos plantas podrán tratar todos los efluentes generados en la fábrica pudiendo seguirse manteniendo que los parámetros de vertido alcancen valores que garanticen un coeficiente de K=1.

La nueva planta contará además con intercambiadores de calor que permitan aprovechar el calor residual de los efluentes a su entrada en la planta depuradora para calentar parte del agua fresca que entra a fábrica, consiguiendo con ello también un ahorro energético.

Las plantas son monitorizadas mediante el uso de medidores en continuo y a través de ensayos periódicos en el laboratorio que garantizan la información necesaria para su buen funcionamiento.

APL PARA REDUCIR LAS EMISIONES AL AIRE

Uso de producción combinada de vapor y energía eléctrica

La fábrica obtiene el 100% de la energía térmica y eléctrica que necesita a través del suministro que le da Peninsular Cogeneración (empresa participada al 50% por Holmen Paper y al 50% por Iberdrola). Peninsular Cogeneración cuenta en la actualidad con una planta de cogeneración con turbina de gas y turbina de vapor de 41,5 MW sita en el mismo emplazamiento.

Para la nueva máquina MP62 está previsto, en principio, el abastecimiento eléctrico a partir de la red general y el abastecimiento térmico a partir de las calderas auxiliares existentes y de las plantas de cogeneración.

Reducción de las emisiones de SO₂ mediante el uso de gas natural en las calderas

Todas las calderas actuales y futuras, así como la planta de cogeneración de 5,5 MW, utilizan como único combustible gas natural.

Las emisiones de azufre son muy bajas en comparación con otros combustibles fósiles.

Cuidadosa selección de los productos usados para el estuco del papel

Como se mencionó anteriormente, la empresa cuenta con un procedimiento para la homologación de los productos que utiliza como materias primas.

La empresa tendrá en cuenta, dentro de la homologación de productos, que los materiales usados para la fabricación de la salsa de estucado sean tales que minimicen la posible generación de compuestos orgánicos volátiles, así como que no contienen compuestos cancerígenos.

APL PARA REDUCIR LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS

Minimización en la generación de residuos sólidos y recuperación, reutilización y reciclado de materiales tanto como sea posible

Como se ha indicado en las técnicas de reducción de emisiones al agua en la planta se utilizan diversas técnicas para recuperar las fibras y cargas de los circuitos de agua para su reutilización en el proceso. De no ser así estas fibras aumentarían la cantidad final de residuos sólidos.

Para minimizar la cantidad final de residuos de proceso, los lodos y rechazos se someten a tratamientos de eliminación de agua mediante desgate y prensado.

Por otro lado, durante el proceso de fabricación se producen restos de papel inservibles. Dichos restos provienen de productos defectuosos que no han pasado el control de calidad o de restos de bobinas y mermas del proceso. Todos esos restos de papel son reciclados en el mismo proceso. Para ello se utilizan dos vías: la dilución en los pulpers instalados bajo la máquina de papel, que forman parte del sistema de rotos, o el envío de los restos de papel al almacén de materia prima (papel recuperado).

Otra de las medidas que contribuye a la minimización de residuos es la descrita en el punto 5 de este mismo apartado referida a la recuperación de las cargas contenidas en los efluentes del estucado.

Separación de las distintas fracciones de residuos en origen para favorecer la recuperación o reciclado frente a la deposición final en vertedero

Todos los residuos generados durante el proceso son clasificados para su posterior gestión de forma correcta. Las líneas de la planta de fabricación de pastas clasifican por separado los rechazos (plásticos, cuerdas, metales, etc., provenientes del papel recuperado que se utiliza como materia prima) de los lodos de proceso. De esta forma se consigue que los lodos puedan ser segregados para ser tratados según se describe en los puntos 6 y 7 del presente apartado, mientras que los rechazos son enviados a vertedero.

En la nueva instalación está prevista la separación de los rechazos en dos grandes grupos: los rechazos del pulper tambor y los rechazos de la depuración a alta consistencia.

Los primeros son de mayor tamaño y pueden llevar metales que serán retirados mediante un separador magnético para su posterior recuperación. Una vez libres de metal, pueden ser triturados en caso de que se quiera disminuir su tamaño para favorecer su incineración posterior. Una vez triturados se unirían al segundo tipo de rechazos. Todos se someten a la eliminación del agua sobrante para alcanzar un nivel de sequedad que permita su manejo posterior (bien en vertedero, o bien en una planta incineradora).

Además de los residuos mayoritarios mencionados (lodos y rechazos), se generan otros residuos minoritarios: Las maderas, así como los alambres y otros metales son separados y entregados a gestor para su reciclado; los envases de 1000l de productos químicos pueden ser directamente devueltos al proveedor para su reutilización o entregados a un gestor intermedio para su recuperación o reutilización.

Optimización en el número de etapas empleadas en la depuración de la pasta

Las líneas de fabricación de pasta están diseñadas con una serie de etapas de depuración en cascada de forma que se minimiza la generación de residuos al mínimo.

La depuración en cascada consiste en que los rechazos de un depurador pasan a otra nueva etapa de depuración que realiza una separación más fina de las materias que se desean eliminar de las fibras, y así sucesivamente hasta agotar todas las etapas. Los rechazos de la última etapa constituyen el rechazo final.

Esto es aplicado tanto a los *cleaners* (ciclones) como a los *screen* (depuradores rotativos de agujeros o de ranuras). Así, la depuración grosera (ciclones y agujeros) tiene 3 etapas, la depuración por ranuras 3 etapas, la depuración ciclónica 4 etapas y la depuración fina de ranuras 4 etapas.

Las nuevas líneas de fabricación de pasta también serán diseñadas siguiendo este mismo principio, de forma que se minimicen los rechazos y se consigan minimizar la cantidad de fibras de celulosa que acompañen a los rechazos.

Sistemas de flotación para reducción en la pérdida de fibras y cargas

Tanto las líneas actuales de pasta (DIP 2 y DIP 3) como las futuras (DIP 4 y DIP 5) cuentan con filtros de disco y prensas tornillo que permiten separar las fibras y cargas de las aguas para favorecer su recuperación. Las aguas recuperadas son llevadas a unidades de depuración por flotación intercaladas en cada una de las líneas (DAFs).

Dichas fibras y cargas son recuperadas al proceso productivo, aprovechándose de nuevo para la producción de papel y minimizando la generación de residuos. Las aguas clarificadas, como ya se señaló anteriormente, son reutilizadas en etapas previas del proceso.

Por otro lado, las aguas blancas de la máquina de papel son dirigidas a filtros de discos y unidades de depuración por flotación específicas DAF que permiten una separación eficiente de las fibras y cargas y la recuperación de las aguas para su uso en etapas previas.

Recuperación y reciclado de las cargas contenidas en los efluentes provenientes de la cocina de estucado

La MP61 está preparada para la fabricación de papeles estucados. Estos tipos de papeles son fabricados mediante la aplicación superficial de una capa de estuco a un papel base. Dicha aplicación superficial se realiza en la *size press* y la salsa de estucado que se aplica es preparada en la denominada "cocina de estucado".

Para la preparación en la cocina de estucado de la salsa se utiliza básicamente carbonato cálcico, caolín, látex y almidón. La preparación de esta salsa en la cocina genera efluentes ricos en los elementos anteriores, básicamente provenientes de lotes de salsas de estucado que no es posible utilizar, restos de producciones y aguas de lavado.

Estos efluentes serán tratados mediante un pretratamiento con el que se consigue, por un lado, que las sustancias utilizadas en el estucado no dañen al tratamiento biológico posterior y, por otro lado, minimizar el consumo de productos auxiliares al recuperar directamente parte de los mismos, evitando que aparezcan finalmente como residuos.

El tratamiento empleado para ello son estaciones de ultrafiltración. Este tratamiento es el preferido y definido como APL dentro del BREF.

Espesado y desecado de los lodos antes de su deposición final

Los lodos generados en las etapas de destintado y por las unidades de flotación por aire disuelto (DAFs) son tratados en estaciones de espesado de forma que se extraiga la máxima cantidad de agua posible.

Ello es realizado mediante el empleo de mesas de gravedad y prensas tornillo que consiguen dar una sequedad a los lodos del 55%. De esta forma se minimiza la cantidad en peso en los lodos generados y aumenta su sequedad, lo cual permite minimizar el número de transportes para su evacuación de la fábrica y aumenta su poder calorífico.

Las aguas extraídas son llevadas al tratamiento primario (DAF2) para su depuración.

Reducción de la cantidad de residuos destinados a vertedero. Identificación de las posibilidades de operaciones de recuperación y utilización de los residuos para su reciclado o incineración con recuperación de energía.

Como ya se indicó anteriormente, las instalaciones actuales de Holmen Paper Papelera Peninsular genera aproximadamente una cantidad de 65.000 toneladas anuales de lodos, que se convierten en 83.000 una vez optimizada la planta. La ampliación proyectada incrementará esa cantidad hasta unas 270.000 toneladas de lodos en total.

HPM comenzó un programa de desarrollo que buscara usos alternativos de los lodos al vertedero. Fruto de dicho programa, durante el año 2003 ni una sola tonelada de lodos generada ha sido destinada a vertedero, siendo las principales alternativas encontradas las siguientes:

- Empleo de los lodos en la industria cerámica
Mediante la adición de los lodos papeleros a las arcillas para la fabricación de termoarcilla se consigue mejorar algunas propiedades de estos productos.

Los lodos son ricos en carbonato cálcico y fibras de celulosa. Al mezclar los lodos con las arcillas las fibras de celulosa dan una mayor resistencia al material. Asimismo, permiten mejorar sus propiedades aislantes y el carbonato mejora su estabilidad dimensional.

En la actualidad Holmen Paper Madrid suministra sus lodos a 8 empresas cerámicas situadas en las comunidades autónomas de Castilla La Mancha y Extremadura.

Para las nuevas instalaciones la empresa ha emprendido un plan de expansión en nuevas cerámicas, algunas de las cuales ya están realizando pruebas con los mismos, de forma que puedan absorber parte de las nuevas cantidades generadas en un futuro.

- Empleo de los lodos para usos agrícolas
En enero de 2002, Holmen Paper Madrid, junto con empresas del compostaje de lodos, comenzó a probar la viabilidad del uso de sus lodos para usos agrícolas.

Los resultados de dichas investigaciones han mostrado que los lodos papeleros por si solos no son aptos para su compostaje, ya que su contenido en elementos fertilizantes es escaso. Sin embargo, la mezcla de los lodos papeleros con lodos provenientes de estaciones de depuración biológicas permite aumentar la sequedad de éstos y compensar sus deficiencias fertilizantes aportando sustrato. Ello facilita el posterior compostaje del producto resultante. HPPP está inscrita en la Sección de Estaciones de Depuración del Registro de Aplicación de Lodos en la Agricultura de la Comunidad de Madrid. Esta inscripción autoriza a HPP a utilizar sus lodos para usos agrícolas, siempre de acuerdo a lo establecido en la normativa de aplicación. Actualmente, todos los lodos destinados a estos usos son gestionados a través de una empresa que está inscrita en el Registro de Empresas Comercializadoras de Aplicación de Lodos en la Agricultura de la Comunidad de Madrid.

Para gestionar los lodos generados en las nuevas instalaciones, la empresa se encuentra en fase de estudio para el suministro a nuevas empresas cerámicas y del sector agrícola. Asimismo estudia nuevos sectores como el cementero, donde se encuentra realizando sus primeras investigaciones con resultados positivos.

Paralelamente, Peninsular Cogeneración está estudiando la viabilidad de una nueva planta para la incineración de lodos con recuperación de energía. Se proyecta para ello la instalación de una caldera de lecho fluidizado, utilizando gas natural como combustible auxiliar.

APL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

Implantación de un sistema para monitorizar el uso de la energía y su utilización

En las instalaciones actualmente existentes el abastecimiento energético se realiza a partir de las instalaciones de Peninsular Cogeneración, ya mencionadas anteriormente. Desde la sala de control de la planta se pueden ver en continuo algunos de los parámetros más importantes que permiten evaluar el consumo energético, como consumo de gas, producción de vapor, producción de electricidad...

Diariamente se lleva a cabo un registro del balance energético, determinándose consumos de gas en cada instalación operativa, horas de funcionamiento, energía comprada a la red (si es preciso), entalpías de vapor y agua caliente suministradas a la planta, energía eléctrica suministrada a la planta, energía vendida a la red...

Todos los datos de estos parámetros son analizados y revisados diaria y mensualmente con objeto de evaluar las tendencias y establecer las medidas oportunas para mantener los ratios adecuados.

Uso de tecnologías eficientes energéticamente

El ahorro de energía pasa por el uso de tecnologías eficientes en cuanto al uso de energía.

Entre las tecnologías que se mencionan como eficientes destacan y que están actualmente implantadas en la MP61 están: la desintegración a alta consistencia que se realiza en los pulper (con una consistencia de pasta de entre el 17 y el 18%); mesa de formación de doble tela; sistemas de vacío adecuados; recuperación de los condensados de vapor en un gran porcentaje (60-80%), e intercambio de calor de las salidas de vapor de los secadores con el aire del exterior para aprovechar el calor residual; uso de variadores de frecuencia en los equipos, principalmente en bombas y en ventiladores, para ajustar en cada momento la demanda de energía.

En la ampliación de las instalaciones se están teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores y otros que se han detectado tras el funcionamiento de la MP61. Por ejemplo, se sustituirán las torres de refrigeración del efluente necesarias para disminuir la temperatura del vertido antes de su entrada en los reactores biológicos, por intercambiadores de calor en los que el fluido refrigerante será el agua fresca. De este modo se consigue incrementar la temperatura del agua de entrada, de modo que la posteriormente se requiera menor energía para su calentamiento hasta la temperatura de servicio.

Estas mejoras también se tendrán en cuenta para las instalaciones existentes en la MP61 cuando sean necesarias reformas o sustituciones de los equipos.

Optimización del desgote en la sección de prensas mediante el uso de prensa zapata.

La nueva máquina de papel MP62 contará en la sección de prensas con la tecnología más avanzada (previsiblemente una prensa zapata). De esta forma se consigue mejorar la extracción de agua de la hoja de papel alcanzando sequedades mayores al aumentar la zona de presión, y a su vez el tiempo de contacto, respecto a las prensas tradicionales.

Esta tecnología permitirá una sequedad a la salida de la sección de prensas de entre un 45% y un 50%, mejorando así la sequedad en comparación con la obtenida en la sección de prensas de la MP61 (alrededor del 43%).

La mayor sequedad de la hoja de papel implica una menor cantidad de energía necesaria (menos vapor) para secar la hoja hasta su humedad final, cercana al 8,5%.

Adicionalmente, esta tecnología de prensado permite un aumento en la vida de las bayetas en la sección de prensas, lo que significa una reducción de este tipo de residuos.

APL EN EL USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Bases de datos con todos los productos químicos y aditivos utilizados.

Es importante conocer la composición de todas las sustancias y preparados químicos que se utilizan en el proceso, así como su degradabilidad, toxicidad para el hombre y para el medio ambiente y su potencial de bio-acumulación.

Actualmente esa información se recoge y se comunica a los implicados en su manejo a través de las fichas de seguridad de cada uno de los productos. En ocasiones, esas fichas de seguridad no contienen todos los datos anteriormente señalados, por lo que son solicitados directamente al proveedor.

Está previsto para el próximo año disponer de una base de datos en la que se recoja toda la información anteriormente señalada. Esta base de datos es elaborada por el grupo HOLMEN específicamente para los productos que se utilizan en nuestras fábricas. Este sistema mejora la sistemática de recogida y mantenimiento de la información, así como de la accesibilidad de la misma ya que se podrá consultar a través de la *intranet* de la fábrica.

Aplicación del principio de sustitución: los productos menos peligrosos son utilizados si están disponibles

Cuando se realizan pruebas con nuevos productos, bien para su incorporación al proceso o bien como sustitutos de preparados ya en uso, se tienen en cuenta las características anteriormente reseñadas, de modo que, siempre que es técnicamente viable, se fomenta la sustitución de productos peligrosos por otros que no lo son.

Medidas para eliminar derrames accidentales al suelo o al agua en la descarga y almacenamiento de productos químicos.

Las instalaciones de carga, descarga y almacenamiento de productos químicos a granel están dotadas de cubetos estancos que permiten recoger la capacidad de, al menos, el mayor de los depósitos de cada cubeto en caso de rotura del mismo. Los productos químicos suministrados en recipientes (de 1000 o 200 litros habitualmente) se almacenan en una zona específica que cuenta con estanterías adecuadas para este tipo de almacenamiento. Esta zona cuenta con una canaleta compartimentada para la recogida de posibles derrames que impide que, en caso de que se produzcan, alcancen las redes de saneamiento.

9. CONCLUSIONES

El principal reto del sector papelerero en la actualidad es el alcanzar un desarrollo sostenible, respetuoso con el medio ambiente, manteniendo la competitividad de las empresas.

Para alcanzar este objetivo es necesario minimizar el consumo de recursos naturales y el impacto medio ambiental de las instalaciones de pasta y papel, a la vez que se aumenta la productividad y/o la calidad de los productos finales. Para ello es necesario optimizar todas y cada una de las etapas del proceso considerando de forma integrada los recursos necesarios, los factores mecánicos de los equipos, los fenómenos químicos y las emisiones producidas. Una vez que se han adoptado las medidas necesarias para la prevención en origen de la contaminación es necesario llevar a cabo el tratamiento finalista de las emisiones de las plantas para minimizar el impacto medioambiental último de las mismas.

Por sus características específicas, la industria papelera cumple desde hace décadas con algunos de los conceptos del desarrollo sostenible como, por ejemplo, el reciclado de sus productos, la reutilización de lodos, el cierre de circuito de aguas, la regeneración de lejías negras, etc., motivada en todo momento por los beneficios económicos que dichas medidas conllevan. Lo cual pone de manifiesto que la implantación de mejoras ambientales que previenen la contaminación también pueden producir importantes beneficios económicos. Mas aún, las alternativas propuestas en este manual para prevenir la contaminación se basan en las mejoras técnicas disponibles que cumplen con el requisito de ser técnica y económicamente viables.

En los Países del Área del Mediterráneo la producción de pasta es de 7 millones t/año (40% de la producción en Francia y el 30% en España), correspondiendo a un 3,78% de la producción mundial de pasta. La producción de papel es de 28 millones de t/año, siendo el 58% papel recuperado (87% en el Norte, 10% en el Este y 3% en el Sur); dicha producción corresponde al 9% de la producción mundial de productos de papel y cartón. El consumo total de papel es de 36,5 millones de toneladas (84% en el Norte, 11% en el Este y 5% en el Sur) con un consumo por habitante y año que varía desde 3 hasta 204 kg.

Las industrias papeleras más innovadoras han adoptado numerosas medidas en las últimas dos décadas que han permitido disminuir en más de un 80% sus emisiones al aire mediante la optimización de los consumos energéticos, la utilización de combustibles con bajo contenido en azufre, la utilización de mejores sistemas de control en los procesos, etc. La contaminación atmosférica está fundamentalmente relacionada con la fabricación de pastas de celulosa o con la obtención de energía y la aplicación de las mejores técnicas disponibles permite reducir en gran medida las principales emisiones de CO₂ en un ratio de 0,36 kg/t; SO₂ en un ratio de 0,45 kg/t y las emisiones de NO_x en un ratio de 1,12 kg/t. Por último los malos olores son también un grave problema en las fábricas de pastas y, en menor medida, en las fábricas de papel.

El cambio de los sistemas de blanqueo ha permitido la eliminación de AOX en más de un 90% en la última década y la total eliminación de dioxinas.

El cierre de circuitos de aguas presenta numerosas ventajas económicas y medioambientales pero también presenta numerosos problemas debido a la cantidad de contaminantes que se acumulan en el proceso. Con el objetivo de cerrar más los circuitos de aguas se tienen que llevar a cabo tratamientos internos de algunas de las corrientes de tal forma que el agua tratada se pueda reutilizar en la planta. La recirculación del agua y la utilización de tratamientos internos han permitido cerrar los circuitos de agua en más de un 90%. Los principales contaminantes presentes en las aguas de proceso son sólidos en suspensión y materia disuelta y coloidal de naturaleza orgánica e inorgánica, por lo que los efluentes finales son fácilmente tratables mediante un tratamiento primario y secundario y, si es necesario, mediante un tratamiento terciario para eliminar los nutrientes.

La generación de residuos sólidos está ligada fundamentalmente a los procesos de producción de energía, a la recuperación de lejías negras, a los tratamientos de aguas y a la producción de papel recuperado, especialmente destintado. Debido a los elevados costes de los vertederos y a las actuales tendencias en la legislación, la mayoría de dichos residuos son reciclados, se utiliza su potencial energético o bien se utilizan en otros procesos.

El sector papelero requiere un gran consumo energético de tal forma que los costes energéticos pueden suponer más de un 25% de los costes de producción. Es por tanto importante una reducción de dicho consumo, lo cual se puede realizar mediante la utilización de equipos de menor consumo energético y la utilización de sistemas de ciclo combinado.

En resumen, en la actualidad existen numerosas alternativas que son técnica y económicamente viables para prevenir y reducir la contaminación en su origen. El abanico de alternativas de Producción más Limpia es amplio, y permite la adaptación de alguna de éstas a la mayoría de las tipologías de empresa que forman el sector.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Cambio en el futuro del papel. Towards a Sustainable Paper Cycle. Preparado por el Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo, bajo la iniciativa del World Business Council for Sustainable Development, mayo 2004.
- American Chamber of Commerce in Egypt. BSAC (Business Studies & Analysis Center). Egypt-US Trade Statistics, marzo-abril 2004.
- A. Blanco, C. Negro, C. Monte E. Fuente and J. Tijero. The challenges of Sustainable Papermaking. *Env. Sci. and Tech.*, 2004, 21, 414A-420A.
- C. Negro, R. Schilemans, A. Blanco and J. Tijero, "Towards ZLE in papermaking. State of the art in water consumption". Seminar towards clean closed water loops, Doorwerth NL, 12 Septiembre 2002.
- "The forest and paper industry-on its way to sustainability", ICFPA, agosto 2002.
- Casos Exitosos. Ahorros obtenidos por la aplicación de recomendaciones. CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía), marzo 2002.
- Analyse de la Conjoncture de l'Annee 2002 du Secteur Industriel Public. Algérie. año 2002.
- Industrial Environmental Control. Pulp and Paper; A.M. Springer. Ed. .Tappi 3ª edición, 2002.
- Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones en el sector de la Pasta y el Papel. Elaborado por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental, IHOBE, perteneciente al Departamento de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Año 2001.
- Integrated pollution Prevention and control (IPPC). Reference Document on best Available Techniques in the Pulp and Paper Sector. European Commission, Diciembre 2001.
- Technical Guidance for the Pulp and Paper Sector. Integrated Pollution and Control (IPPC).
- B. Carré and G. Galland. Overview of deinking Technology. CTP-PTS 5th Advance Training Course on Deinking Technology. March 27-29, 2001, Grenoble, France.
- A. Blanco, C. Negro y j. Tijero. Desafíos medioambientales en la Industria de Papelera. *Ing. Quím.*, 2001, 378, 105-110.
- G. Lindholm. Water consumption in the pulp and paper industry. *Paper technology*, 2000, mayo 57-61.
- C. Negro, A. blanco, B. Videc y J. Tijero. Overview ZLE for pulp and paper mills. *Inv. Y técnica del Papel*, 1999, 142, 413-417.
- C. Negro, A. Blanco, B. Viced y J. Tijero. Hacia el vertido cero en la obtención de pastas químicas blanqueadas. *Ing Quim.* 1999, 356, 171-178.
- Paper sludge - waste disposal problem or energy opportunity (1999), D. M. Albertson; K. M. Pope Engineering/Process and product quality conference and trade fair, [Atlanta, vol. 2, pp 779-785 TAPPI Press, 1999.
- Bark and sludge combustion in a bubbling fluidized bed (BFB) boiler (1999) , Kinni J; Remes K 53rd Appita annual conference, Rotorua, New Zealand, 19-23 Apr. 1999, vol. 2, pp 701-708, Appita, 1999.
- Biotechnology for Environment Protection in the Pulp and Paper Industry P Bajpai, 1999 Edn DM
- Water management in Paper Mills, F. Zippel , Voith Paper 1999.
- Energy for paper mills from sludges (1998), *Energia* vol. 14, no. 8, 1998, p. 74.

- J. Caron and L. Williams. Design and Integration of the Bleach .Filtrated Recycle Process. Tappi Press, enero 1996.
- Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper: Mill Effluents Mark R. Servos, Kelly R. Munkittrick, John H. Carey, Glen J. Van Der Kraak "St. Lucie Press 1996
- Pulp Bleaching, Principles and Praticice, C.W. Dence y D,W. Reeve, Editores, Tappi Press, 1996
- C. Negro, A. Blanco I. Gaspar y J. Tijero. El agua en la industria papelera. Ing. Quim., 1995, 10, 137-147.
- Water use reduction in the pulp and paper industry. Paprican 1994.
- Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, U.S. Environmental Protection Agency.

INFORMACIÓN DE LA FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations):

- Pulp and Paper capacities. Capacités de la pâte et du papier. Capacidades de pasta y papel. Study 2000-2005.
- Pulp and Paper Capacities. Survey 1998-2003. Capacités de la pâte et du papier. Enquête 1998-2003. Capacidades de pasta y papel. Estudio 1998-2003.
- Pulp and Paper Capacities. Capacités de la pâte et du papier. Capacidades de pasta y papel. Survey 1996-2001.
- Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. FAO, año 1996.

INFORMACIÓN DEL TAPPI (The leading association for the worldwide pulp, paper, and converting industries):

- Papermaking Science and Technology. Recycled Fibre and De-inking. TAPPI PRESS 2000.
- Papermaking Science and Technology. Papermaking Part 1, Stock preparation and Wet-end. TAPPI PRESS 2000.
- Papermaking Science and Technology. Mechanical Pulping. TAPPI PRESS 1999.
- Papermaking Science and Technology. Chemical Pulping. TAPPI PRESS 1999.
- Papermaking Science and Technology. Environmental Control. TAPPI PRESS 1998.
- Pulp Bleaching. Principles and Practice. TAPPI Press 1996.
- Pulp and paper Manufacture: Secondary fibres and non-wood pulping. TAPPI Press 1993.
- Industrial Environmental Control. Pulp and Paper Industry. TAPPI Press 1993.
- Pulp and paper Manufacture: Stock preparation. TAPPI Press 1992.
- Pulp and Paper Manufacture: Raw Materials. TAPPI Press 1983.

INFORMACIÓN DEL PIRA (The leading online business resource for the printing, packaging, publishing & paper industries):

- P. Bajpai. Treatment of Pulp and Paper Mill Effluents with Anaerobic Technology. PRA International, 2000.
- P. Bajpai and P. K. Bajpai. Recycling of Process Water in a Closed Mill System. PIRA Interntional, 1999.
- P. Bajpai and P.K. Bajpai. Organochlorine Compounds in Bleach Plant Effluents. PIRA International, 1996.

INFORMACIÓN DEL CEPI (Confederation of European Paper Industries):

- Discovering the High Potential of Pulp and Paper Production Residues. CEPI, diciembre 2004.
- Special Recycling 2003 Statistics. CEPI, octubre 2004.
- The European Declaration of paper Recovery. Annual report 2003. CEPI, septiembre 2004.
- CEPI Annual statistics 2003. CEPI, agosto 2004.
- European Pulp and Paper Industry. Annual Statistics 2003 Incorporating Key statistics. CEPI, junio 2004.
- Wood and paper Products Store greenhouse Gases. CEPI, diciembre 2003.
- The European Paper Industry on the Road to Sustainable Development. CEPI, noviembre 2003.
- Renewable Raw Material Versus Renewable Energy. CEPI, noviembre 2003.
- EPI Environmental Report 2002. CEPI, noviembre 2002.
- CEPI Annual Report 2002. CEPI, noviembre 2002.
- Sustainability. CEPI, agosto 2002.
- EU Enlargement and the European Paper Industry. CEPI, mayo 2002.
- Climate change. CEPI, octubre 2000.

INFORMACIÓN DE ASPAPEL (Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón):

- Perfil energético del sector del papel: eficiencia. ASPAPEL, marzo 2004.
- Perfil económico de la industria papelera española: competitividad y crecimiento. ASPAPEL, mayo 2003.
- Competitividad y Crecimiento. ASPAPEL, abril 2003.
- Diagnóstico de la Recuperación de Papel y Cartón en España. ASPAPEL, marzo 2003.
- Contribución Inicial del Sector Papelero a la Reducción de las Emisiones de CO₂ en España. ASPAPEL, febrero 2003.
- Informe Medio Ambiental. El Ciclo Sostenible del Papel. ASPAPEL, marzo 2002.

INFORMACIÓN DE COPACEL (Confederation of the French Pulp, Paper and Board and Industry)

- Les chiffres de l'économie papetière. L'Industrie papetière française. COPACEL, año 2004.
- Recueil Mensuel d'Informations Statistiques, COPACEL, noviembre 2004.
- Les principaux papetiers mondiaux en 2003. COPACEL, enero 2004.
- Rapport annuel, COPACEL, año 2003.
- L'Industrie Papetière Française: une industrie consciente de sa responsabilité sociale, COPACEL, diciembre 2003.

INFORMACIÓN DE ASSOCARTA (L'industria italiana della carta, del cartone e delle paste per carta)

- Rapporto ambientale del l'industria cartaria. ASSOCARTA, enero 2004.
- Industria della Carta. Organo ufficiale di Assocarta. ASSOCARTA, 2004.

PÁGINAS WEB

Guide to Middle East Directory. <http://middleeastdirectory.com/>

Swedish Trade Council. Trade profiles. <http://tradeprofiles.swedishtrade.se/>

International Trade Center. <http://www.intracen.org/menus/countries.htm>

Paper magazines online. <http://www.paperloop.com/>

Newest renewable fuel technology biomass gasification: Legislation and Policy. American Paper & Forest Association, www.afandpa.org.

Eco-Management and Audit scheme, www.emas.org.uk.

EO

IA



**Centro de Actividad Regional
para la Producción Limpia (CAR/PL)**

París, 184, 3ª planta - 08036 Barcelona (España)

Tel.: + 34 93 415 11 12 - Fax: + 34 93 237 02 86

E-mail: cleanpro@cema-sa.org

<http://www.cema-sa.org>