

Corporación Chilena de la Madera A.G.
Departamento de Gestión Ambiental

3. ANEXO: DOCUMENTOS TÉCNICOS



Título	Estudio de las normas de emisiones para la incineración de biocombustibles en la industria de celulosa y papel
Informe N° de STFI-Packforsk	
Cliente	Corporación Chilena de la Madera (CORMA)
Contacto	Emilio Uribe
Dirección	Salas 277, Concepción, CHILE
Función realizada por	Rolf Ljunggren, Niklas Berglin
Orden N°	3008-0802
Proyecto N°	234060

Estocolmo, 07-04-2008

STFI-Packforsk AB

Energy and Mill Systems

Niklas Berglin
Gerente de Investigación

Tabla de contenidos

	Página
1 Resumen.....	3
2 Introducción.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Objetivos.....	7
3 Visión general de la legislación ambiental.....	8
3.1 Legislación Europea.....	8
3.1.1 Prevención y control de contaminación integrada.....	8
3.1.2 Incineración de desechos.....	9
3.1.3 Celulosa y papel.....	11
3.1.4 Incineración de desechos en celulosa y papel.....	11
3.1.5 REACH.....	13
3.2 Legislación Americana.....	13
3.3 Normas chilenas.....	14
4 Resultados a partir de la comparación de las normas.....	16
4.1 Particulados.....	16
4.2 Lioor negro.....	17
4.3 Pesticidas.....	18
4.4 Lodos.....	20
5 Conclusiones.....	22
6 Apéndice.....	24
7 Referencias.....	24

1 Resumen

Las autoridades chilenas recientemente han establecido nuevas normas de emisión para la incineración y la co-incineración que pueden afectar a empresas en la industria chilena de celulosa y papel. Por consiguiente, CORMA ha solicitado a STFI-Packforsk estudiar las normas para la incineración de biocombustibles en su industria y comparar las nuevas normas de emisión chilenas con aquellas de la Unión Europea, de los países nórdicos y de los Estados Unidos.

La legislación con objetivos ambientales es fundamental en todos los países industriales. Una ley general de cualquier forma es seguida de información sobre la mejor tecnología disponible dentro de cada línea de negocios. Los valores de emisión no son estáticos; más bien ellos cambian en un proceso dinámico cuando nuevas tecnologías llegan a estar disponibles a lo largo de los años. La Mejor Tecnología Disponible es trazada tanto para la Unión Europea como para EE.UU. La legislación europea aludida en este informe es la IPPC, la directiva de incineración de desechos y REACH. La legislación americana es la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act) con todas las enmiendas.

A partir del estudio, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- De modo poco realista se ha dispuesto un corto tiempo para la implementación de la nueva regulación chilena en comparación con regulaciones europeas y estadounidenses donde un periodo de cinco a 10 años es usual.
- La norma chilena no tiene distinción entre la industria existente, modernización de la industria existente, y nuevas instalaciones (a diferencia tanto de la Unión Europea como de Estados Unidos). El costo para implementar esta nueva norma y el tiempo necesario para cumplir las exigencias para la industria forestal son, por consiguiente, ignorados.
- Las nuevas normas de emisión para Chile están en línea con la legislación de incineración de desechos tanto de la Unión Europea como con la estadounidense. Nuevamente, la pregunta es más bien cómo hacer frente a las exigencias y el tiempo necesario para poner en práctica la mejor tecnología disponible a fin de cumplir con los nuevos requisitos.
- Los permisos en la Unión Europea y en Estados Unidos pueden tomar en cuenta la ubicación, el entorno y la situación ambiental en una base local, lo que no es considerado en la norma chilena.
- Los combustibles usados en la industria de celulosa y papel provienen principalmente de las propias operaciones de la industria, y estos combustibles son excluidos de directivas de incineración de desechos en la Unión Europea (que controla toda la operación de incineración de desechos en la comunidad). La misma exclusión no se encuentra en la legislación estadounidense.
- Los límites de emisión para los metales pesados, HCl, dioxinas y furanos son inferiores en la norma de la Unión Europea comparada con la norma chilena.

- En la comparación de los límites de emisión para gases de combustión, es necesario corregir para diferentes niveles de oxígeno antes de compararlos.
- Las autoridades chilenas usan un estándar de temperatura diferente (25°C) del que es usado en la norma de la Unión Europea (0°C). La consecuencia en la práctica es que la densidad del gas es inferior (8%) y el límite de emisión chileno es 8% más alto que cualquier cifra dada en la norma de la Unión Europea.
- Los componentes condensables recuperables como el *tall oil*, jabón, metanol y la trementina del licor negro y su uso han sido ejemplificados. Tanto en la norma de la Unión Europea como en la estadounidense (BREF/MACT) éstos son considerados como sub-productos complementarios que pueden ser utilizados para necesidades internas de calentamiento. En las BAT de la Unión Europea una emisión disminuida de NOx puede lograrse cargando un horno de cal con *tall oil* puro. En las MACT estadounidenses, la emisión de metanol es limitada.
- La recuperación de los subproductos como jabón, *tall oil*, trementina y metanol potencialmente tendrán un valor económico mucho más alto a medida que los combustibles fósiles se hagan más caros. Por esta razón, lo fundamental probablemente será recuperarlos y/o quemarlos adecuadamente.
- La madera químicamente tratada es un término usado tanto en la legislación americana como en la europea, queriendo decir que si cualquier sustancia es añadida a la madera, ésta será regulada según la sustancia añadida. La definición incluye la madera que ha estado expuesta a cualquier tratamiento externo causando o esperando que cause residuos de sustancias reguladas o controladas.
- Los pesticidas usados durante el período de crecimiento no son explícitamente cubiertos por la legislación para operaciones en la industria forestal, en la Unión Europea o en Estados Unidos. Los pesticidas de vanguardia tienen una vida media que se reduce y bajo condiciones normales no habrá presencia de residuos. Si los pesticidas están presentes en la corteza o la madera usada como combustible, éstos caen dentro de la norma de incineración de desechos (Unión Europea y EE.UU.).
- Los lodos primarios y secundarios también son principalmente considerados como combustibles excluidos de la directiva de incineración de desechos (Unión Europea y EE.UU.) y pueden ser preferentemente usados como combustible en la producción de pulpa. Los lodos terciarios tienen menos valor, pero pueden ser manejados internamente si no hay presencia de sustancias controladas u oligoelementos.

2 Introducción

Las normas de emisión son primordiales en la protección del medio ambiente en todo el mundo. Las normas estipulan emisiones al aire, suelo y agua. Hay diferencias en las normas de emisión entre, por ejemplo, la Unión Europea y los Estados Unidos, pero no cuando se refiere al objetivo general de proteger el medioambiente.

La legislación es obligatoria y llevada a cabo sistemáticamente por las autoridades. Cada cambio significativo en la producción o en el equipo de producción exige un nuevo permiso. Estos permisos están basados en estándares comunes descritos en este informe.

Los principales límites de emisión son establecidos en la legislación vigente, pero tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos hay un proceso en curso de determinación, documentación e implementación de la mejor tecnología disponible. Este trabajo es un esfuerzo conjunto entre productores, proveedores, empresas de ingeniería y autoridades. Esto ha dado como resultado un significativo avance tecnológico y un desarrollo ecológicamente racional.

2.1 Antecedentes

Las autoridades chilenas recientemente han establecido nuevas normas de emisión para la incineración y la co-incineración que pueden afectar a empresas en la industria chilena de celulosa y papel. CORMA ha solicitado a STFI- Packforsk estudiar las normas para la carga de biocombustibles en la industria de celulosa y papel y comparar las nuevas normas de emisión chilenas con aquellas de la Unión Europea (EU), de los países nórdicos y de los Estados Unidos.

La co-incineración es de particular interés, por ejemplo, aquella con lodo primario, secundario y terciario y con residuos de la industria maderera. La incineración y co-incineración se produce tanto en calderas como en hornos de cal.

El combustible dentro de la industria forestal, generalmente está fuera del control de las normas para desechos o co-incineración en la Unión Europea y los Estados Unidos, aunque cualquier adición de químicos (ya sea parte natural de la estructura de biomasa o no) cambiará esto y exigirá tratamiento regulado del combustible.

Los pesticidas (pulverizados en las plantaciones) y el efecto residual de la calidad de la corteza en la combustión y co-incineración son tratados desde una perspectiva de combustión. Los pesticidas tienen su propia norma y manipulación, tanto para uso como para destrucción (de residuos) pero eso no está dentro del alcance de este informe.

El uso de biomasa en la industria se ha convertido en un sofisticado flujo de materiales y sub-productos. Cada etapa de producción tiene un usuario (cliente) para los sub-productos, terminando en un sistema donde el rendimiento puede ser mantenido a un nivel muy alto sin dejar material excedente para rechazo.

Las plantas de celulosa parten con madera que es descortezada y astillada como materia prima para la celulosa. La pulpa es cocida y el licor negro es usado como combustible en la caldera recuperadora. Una caldera auxiliar en parte alimentada con corteza, cubre la necesidad de energía restante en el

proceso y el excedente de energía puede ser utilizado para suministro de energía eléctrica.

Las fábricas de papel están beneficiosamente conectadas a una planta de celulosa con el excedente de energía. Las fábricas de papel con suministro de energía propio, principalmente usan biomasa (astillas, corteza y/o polvo).

Los aserraderos dimensionan la madera y obtienen materiales excedentes en la corteza, recortes, astillas y polvo. Las astillas normalmente son vendidas a las plantas de celulosa y a los fabricantes de tableros. La corteza y el aserrín son usados internamente para suministro de energía y/o vendidos externamente para calefacción.

La madera para pulpa o los productos aserrados tienen un rendimiento de bajo el 50 %, lo que significa que la mitad del flujo de material en la industria forestal va a uso secundario como la calefacción.

En la figura siguiente se presenta un esquema del flujo de productos de biomasa dentro de la industria forestal. Los cuadrados verdes indican un flujo de productos de biomasa pura, en tanto que los cuadrados naranjos representan donde no se ha adicionado productos de biomasa.

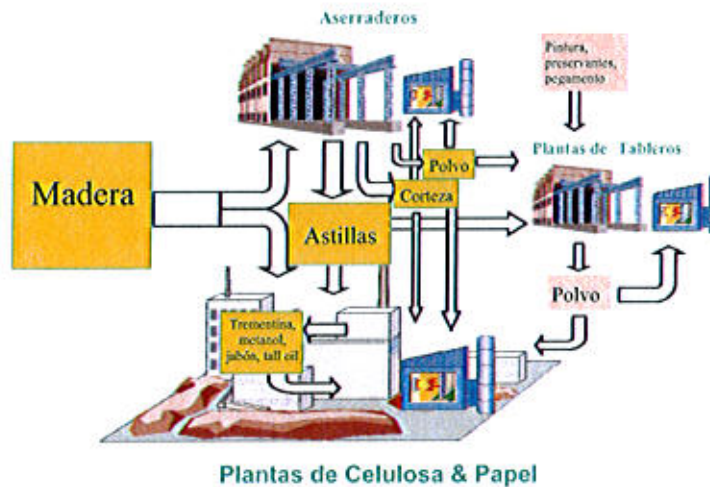


Figura 1. Flujo de productos de biomasa dentro de la industria forestal

Los combustibles fósiles pueden ser parte del suministro de energía, casi siempre en el área de recuperación, en particular en hornos de cal y en calderas auxiliares.

2.2 Objetivos

El objetivo de este documento es entregar información sobre las normas internacionales de emisión dentro de la industria de celulosa y papel, centrándose en las emisiones al aire, para hacer una comparación con las nuevas normas chilenas. El objetivo abarca las emisiones desde calderas recuperadoras y auxiliares, como también hornos de cal, desde combustibles estándar a material de desecho. El foco está en emisiones de combustión en forma de partículas, compuestos orgánicos, ceniza y oligoelementos.

3 Visión general de la legislación medioambiental

La legislación ambiental es un asunto para la sociedad en su totalidad. Es necesario encontrar un equilibrio entre lo que es posible y lo que es económicamente viable cuando se trata de operaciones industriales.

Internacionalmente hay dos grandes bloques, la Unión Europea y Estados Unidos, desde donde surgen la legislación y exigencias ambientales. Dado que abarcan una gran parte de las actividades internacionales, por ejemplo, el negocio de la celulosa y papel, realmente tiene sentido comparar su legislación con otras regiones. El tener un enfoque más global a las normas de emisión también iguala la competencia.

3.1 Legislación Europea

3.1.1 Prevención y control de contaminación integrada

La legislación europea está basada en la Directiva 96/61/EC del Consejo del 24 de septiembre de 1996 con respecto a la Prevención y Control de la Contaminación Integrada, por lo general denominada como "IPPC" [1]. Esta directiva es válida para todos los Estados miembros de la Unión.

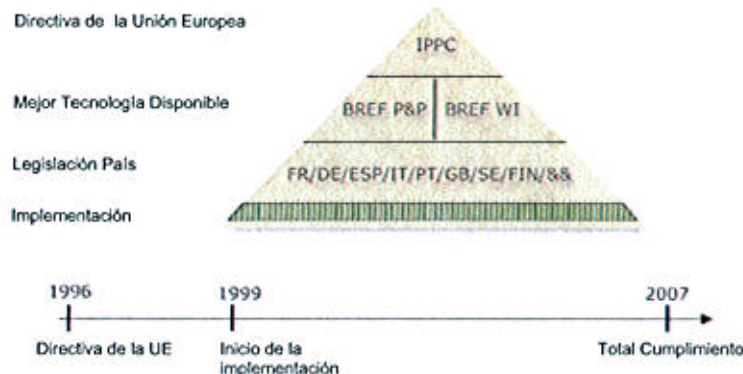


Figura 2. Principios detrás IPPC.

Cada estado miembro tiene su propia legislación, según la directiva estadounidense, en donde se establece el procedimiento para obtener un permiso nuevo o una renovación.

Los permisos están basados en las REFERENCIAS de las Mejores Tecnologías Disponibles - BREF. Cada área de negocio tiene su BREF específica que ha sido emitida en cooperación entre autoridades e industria.

En la Figura 1 se presentan los principios para la directiva 96/61/EC. Observe que el tiempo establecido para la plena implementación de la directiva es once años.

La operación de los países nórdicos en la celulosa y papel es gran parte de este negocio en la Unión Europea. Aunque estrictos límites de emisiones previos fueran impuestos a los países nórdicos, se ha logrado una igualación a través de esta directiva.

3.1.2 Incineración de residuos

La incineración de Desechos está basada en la Directiva 2000/76/EC del 4 de diciembre de 2000 [2]. Esta directiva resume cómo se debe realizar la incineración y la co-incineración para prevenir o minimizar el impacto sobre el medioambiente - aire, suelo y agua. Esto se posibilitará por permisos estrictos y exigencias tecnológicas en relación a las emisiones.

Residuo es definido en la Directiva 2006/12/EC del 5 de abril de 2006 [3]. La definición es "residuos" significa cualquier sustancia u objeto en las categorías expuestas en el Anexo I que el poseedor desecha o tiene la intención o requiere desechar". El Anexo I incluye dieciséis categorías de residuos desde consumidor a industrial.

Los residuos peligrosos se definen en otra Directiva 91/689/EEC del Consejo del 12 de diciembre de 1991 [4] donde los anexos definen usos, química y propiedades. Por ejemplo, los preservantes de la madera califican en las tres categorías.

La Directiva de Incineración de Residuos distingue entre diferentes tipos de residuos y los procedimientos de manejo de ellos. Fundamental en la Directiva es la norma de combustión. En la figura a continuación, se muestra la exigencia de combustión dentro de la Directiva 2000/76/EC. Observe que en este caso el tiempo establecido para la puesta en práctica es cinco años.

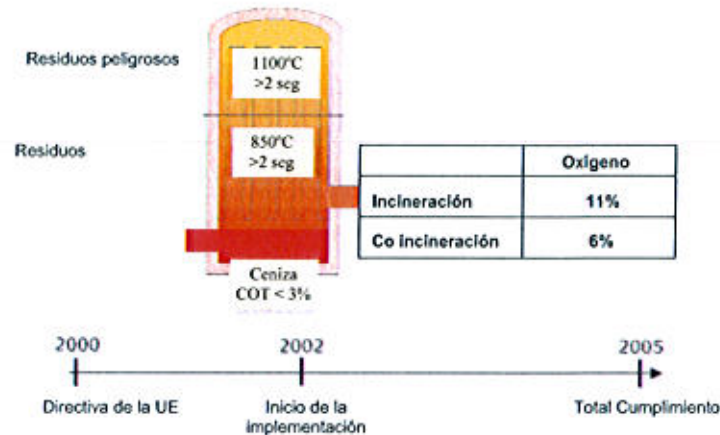


Figura 3. Principios de combustión fundamentales en la Directiva de incineración de residuos.

Excluidas de esta directiva están las operaciones de combustión (de [2]):

- "residuos vegetales fibrosos de la producción de pulpa virgen y de la producción de papel a partir de pulpa, si es co-incinerado en el lugar de producción y el calor generado es recuperado"
- "los residuos de madera* a excepción de los residuos de madera que pueden contener compuestos orgánicos halogenados o metales pesados como consecuencia del tratamiento con preservantes de la madera o revestimientos, y que incluye en particular residuos de madera que proviene de la construcción y los residuos de demolición".

*según se define anteriormente.

Esta primera exclusión es válida para los lodos dentro de la producción de celulosa y papel (primario, secundario y terciario). La segunda exclusión se refiere a materiales puros de madera que no contienen ninguna sustancia que requiere que ser controlada (por ejemplo, adhesivo, preservantes).

La exclusión de la Directiva 2000/76/EC para los residuos vegetales fibrosos dentro de la celulosa y papel da una oportunidad de manejar los residuos internos como un combustible mientras éstos no salgan de los establecimientos del productor de celulosa y papel.

3.1.3 Celulosa y papel

Las operaciones de celulosa y papel en Estados Unidos son controladas por el BREF "Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la Industria de Celulosa y Papel" ("Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry") emitido en Diciembre de 2001 [5]. Este documento establece en detalle la ejecución de cada proceso involucrado en la fabricación de celulosa y papel, ya sea un proceso kraft o mecánico de la madera al papel.

3.1.4 Incineración de desechos en celulosa y papel

La incineración de desechos en la Unión Europea es controlada por el "Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles para la Incineración de Residuos" emitida en el agosto de 2006 [6]. Residuo incluye cada fuente posible que es combustible en cualquier sentido y no es una fuente única, sino una mezcla de material y origen.

El material de biomasa para uso como combustible (e incineración) es clasificado por la norma SIS/CEN_TS 14961/2000⁶ la cual cubre toda la biomasa desde diferentes fuentes y procesos. Las categorías de biocombustibles se muestran a continuación en la Tabla 2. Observe que es ampliado para la categoría de biomasa Leñosa y que las categorías de biomasa Herbácea y Afrutada son excluidas.

El hecho aquí es que los residuos de madera químicamente tratados se regirán por la Directiva 2000/76/EC la que exige incineración de acuerdo a la descripción en el punto 3.1.2 anterior. Si la biomasa contiene metales pesados o compuestos orgánicos halogenados estará dentro de residuos peligrosos.

Tabla 1. Clasificación del combustible de biomasa a partir de SIS/CEN TS 14961/2000.

1. Biomasa leñosa	1.1 Madera de Bosque y Plantación	1.1.1 Árboles enteros	1.1.1.1	Caducifolios
			1.1.1.2	Coníferas
			1.1.1.3	Monte bajo de corta rotación
			1.1.1.4	Arbustos
			1.1.1.5	Combinaciones y mezclas
		1.1.2 Madera de fuste	1.1.2.1	Caducifolios
			1.1.2.2	Coníferas
			1.1.2.3	Combinaciones y mezclas
		1.1.3 Residuos de Maderero	1.1.3.1	Fresco/Verde
			1.1.3.2	Almacenados
			1.1.3.3	Combinaciones y mezclas
		1.1.4 Tocones	1.1.4.1	Caducifolios
			1.1.4.2	Coníferas
			1.1.4.3	Monte bajo de corta rotación
	1.1.4.4		Arbustos	
	1.1.4.5		Combinaciones y mezclas	
	1.1.5	Corteza (de operaciones forestales)		
	1.1.6	Biomasa leñosa de manejo de paisaje		
	1.2 Industria procesadora de madera, sub-productos y residuos	1.2.1 Residuos de madera no tratados químicamente	1.2.1.1	Sin corteza
			1.2.1.2	Con corteza
			1.2.1.3	Corteza (de operaciones industriales)
			1.2.1.4	Combinaciones y mezclas
		1.2.2 Residuos de madera químicamente tratados	1.2.2.1	Sin corteza
			1.2.2.2	Con corteza
			1.2.2.3	Corteza (de operaciones industriales)
			1.2.2.4	Combinaciones y mezclas
1.2.3 Desechos fibrosos de la industria de celulosa y papel		1.2.3.1	Desechos fibrosos no tratados químicamente	
		1.2.3.2	Desechos fibrosos químicamente tratados	
1.3 Madera usada		1.3.1 Residuos de madera no tratados químicamente	1.3.1.1	Sin corteza
			1.3.1.2	Corteza
	1.3.1.3		Combinaciones y mezclas	
	1.3.2 Residuos de madera químicamente tratados	1.3.2.1	Sin corteza	
		1.3.2.2	Corteza	
		1.3.2.3	Combinaciones y mezclas	
1.4	Combinaciones y mezclas			
2.	Biomasa herbácea			
3.	Biomasa frutosa			
4.	Combinaciones y mezclas			

3.1.5 REACH

REACH es la nueva norma de la Unión Europea para químicos a partir del diciembre de 2006, basada en la norma 1907/2006 [7]. REACH tiene el propósito de asegurar un alto nivel de protección tanto de la salud humana como del medioambiente aumentando la innovación y la competitividad. Esta norma tiene una aplicación mucho más amplia que las anteriores, debido a su cobertura de todas las sustancias químicas comerciales (+ 30.000 sustancias). Antes, hubo legislación y normas aisladas para diferentes sustancias las que ahora están dentro de una norma común. En la práctica, REACH exige una responsabilidad de uso, manejo y tratamiento de residuos de químicos, no sólo para productores e importadores, sino también para cada etapa en la cadena desde la producción al consumo y finalmente la destrucción (si procede).

El periodo para la puesta en práctica de REACH es a partir del 1 de junio de 2008 cuando comienza. Antes del 2018 más de 30.000 químicos estarán registrados.

Las sustancias químicas usadas dentro de la industria maderera como los adhesivos se registrarán conforme a estas normas. Cuando se trata de preservantes de madera y pesticidas, éstos todavía estarán dentro de una norma especial.

Los residuos dentro de la exención de la Directiva de incineración de desechos (el proceso de desechos propios usados dentro de establecimientos propios) aún serán aplicables.

Si existen sustancias químicas controladas en los residuos (REACH aplicable) y los residuos son enviados al exterior, se considerará como un producto bajo responsabilidad del productor, con exigencias y registro formales impuestos a estos desechos, sea un combustible o no.

Esta norma y manejo hacen que la comercialización de residuos combustibles (como metanol, aceite de resina, jabón, trementina) dentro de la Unión Europea sea más formalmente exigente que antes.

3.2 Legislación Americana

La legislación americana no es una de prevención de contaminación integrada como la europea. La Ley de Aire Limpio, 42 U.S.C (Código de los EE.UU.) 7401-7671 [8], controla emisiones al aire. Fue originalmente declarada en 1955 y ha sido actualizada en 1970, 1975 y 1990. La CAA (Ley de Aire Limpio) "procura proteger la salud humana y el medioambiente de las emisiones que contaminan el aire ambiental o exterior". Controla 188 sustancias peligrosas y el permiso para operaciones. El alcance del CAA cubre no sólo operaciones industriales, sino el control de cada fuente de emisión (por ejemplo, estándares de automóvil, control de lluvia ácida, químicos que agotan el ozono). La mejor tecnología de control disponible ha sido parte del CAA desde 1970. Las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) se centran en seis contaminantes del aire:

- Material particulado (PM2.5 y PM10),
- Dióxido de azufre (SO₂),
- Dióxido de nitrógeno (NO₂),
- Monóxido de carbono (CO),

- Ozono (indirectamente por VOCs y NOx)
- Plomo

Cada cinco años la Agencia de Protección de EE.UU. (EPA) revisa la información y revisa las normas de ser necesario (sección 109, [8]).

Los contaminantes peligrosos del aire están bajo control desde 1990 para operaciones industriales en los requisitos de la Tecnología de Control Máxima Alcanzable (MACT 2) formulados por la EPA (sección 112, [8]). El cumplimiento debe ser alcanzado para instalaciones nuevas y las instalaciones existentes tienen tres años para alcanzar la fuente similar mejor controlada (proceso de creación del estándar).

La EPA considera tanto el costo como factores diferentes a la calidad del aire para alcanzar "el grado máximo de reducción de emisiones" para cada contaminación en sus normas. El MACT es obligatoriamente actualizado, al menos cada ocho años.

Las nuevas instalaciones industriales son controladas de una manera similar por las NSPS (Nuevas Normas de Desempeño de la Fuente) establecidas por la EPA en base a tecnología de control "adecuadamente demostrada" y considerando el costo (sección 111, [8]).

Al modificar una instalación existente se aplica un tercer estándar, Revisión de Nueva Fuente (NSR). Esto es válido para modernización de una instalación, pero no aplica para el mantenimiento normal.

La incineración de desechos sólidos tiene requisitos en 10 categorías de contaminantes que están normados (arsénico, cadmio, cromo, cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno, plomo, manganeso, mercurio, níquel y varios contaminantes orgánicos peligrosos del aire). El foco específico está sobre los particulados, el cloruro de hidrógeno, el mercurio y el monóxido de carbono [9].

Controlando los estándares para las instalaciones nuevas, existentes y modernizadas se garantiza que las emisiones son controladas y preferentemente disminuidas aun en un mercado creciente.

Las normas federales aseguran que cada estado tiene los mismos estándares para la industria y no se termina teniendo estados que invitan a la operación industrial con bajas exigencias ambientales, distorsionando la competencia.

3.3 Normas Chilenas

Las normas chilenas de emisiones de incineración y co-incineración de combustión están en parte basadas en la legislación europea, aunque no son exactamente las mismas.

Los límites de emisión recopilados son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Norma Chilena de emisiones.

Tabla	1	2	3
	Los límites máximos permitidos para instalaciones de incineración (3/11%O ₂)	Co-incineración en hornos de cemento y hornos rotatorios de cal (10%O ₂)	Instalaciones forestales que co-incineran biomasa forestal tratada (10%O ₂)
Sustancia	Límite(mg/Nm ³)		
Partículas		30	50
SO ₂		50	
NO _x		300	
Carbono orgánico total (COT)	20		20
Monóxido de carbono		50	50
Mercurio (Hg)		0,1	0,1
Cadmio (Cd)		0,1	0,1
Berilio (Be)		0,1	0,1
Plomo (Pb); *Suma de Pb+Zn		1*	1
As + Co + Ni + Se + Te		1	1
Sb + Cr + Mn + V		5	1
HCl		20	30
HF		2	5
Benceno (C ₆ H ₆)		5	5
Dioxina	0,2 ng/Nm ³	0,2 ng/Nm ³	0,2 ng/Nm ³

El tiempo establecido para la implementación se indica como:

- 5 de Octubre 2008: Plan de cumplimiento (la norma está vigente)
- 5 de Agosto 2010: Plan de Monitoreo

4 Resultados a partir de la comparación de las normas

4.1 Particulados

La comparación de las emisiones de material particulado se realiza para las normas chilenas, de la Unión Europea y las estadounidenses. En la Tabla 3 se recopilan datos para calderas recuperadoras y auxiliares, así como para hornos de cal que usan biomasa o desechos. Los valores en la tabla están basados en el desempeño general de proceso, sin tomar en consideración el combustible usado.

Tabla 3. Comparación de las normas de emisiones de material particulado para la UE y los EEUU.

	UE IPCC	UE	Ley del Aire Limpio				
	BREF P&P	BREF P&P	2000/76/EC	2000/76/EC	MACT 2		
	Caldera Recuperadora, Horno de Cal	Caldera Auxiliar	Co Incineración	Desechos Peligrosos	Caldera Recuperadora Existente	Horno de Cal Existente	Nuevo Horno de Cal
Límite MP							
>100 MW (mg/Nm ³)	30	10	30	10			
<100 MW (mg/Nm ³)	50	30	50	10			
(mg/Nm ³)					100	150	34
Comentario		Corteza 6% O ₂					
%O ₂		3*	6	11		8	10
Temperatura(°C)			>850	>1100			
Tiempo (seg.)			>2	>2			

*Fósil

Estos resultados muestran que la norma chilena en la tabla 2 está en línea tanto con las exigencias europeas como con las estadounidenses. La tecnología a utilizar para poder alcanzar aquellos niveles es descrita tanto en BREF [6] como en MACT 2 [10]. Generalmente se necesitan precipitadores electrostáticos (ESP/PPT) para alcanzar este nivel pero se dan a ejemplos para ciclones combinados con depuradores (más información en [6] y [10]).

Cuando se trata de los límites de emisiones de SOx, NOx, CO y COT, en la norma de la Unión Europea éstos dependen de la capacidad de la instalación y si el combustible es biomasa, líquido o gas. En general, una capacidad inferior tiene límites de emisión más altos y el combustible líquido y la biomasa son cercanos, pero los combustibles gaseosos son sólo una fracción de los otros dos. En el Apéndice 1 se recopilan los datos para la legislación europea.

Los límites de emisión para metales pesados, HCl, dioxinas y furanos son inferiores en la norma de la Unión Europea comparada a la norma chilena. En la comparación de límites de emisión hay una exigencia para establecer el nivel de oxígeno para igualar la emisión.

Las autoridades chilenas usan una temperatura estándar diferente (25°C) a la usada en la norma de la Unión Europea (0°C). La consecuencia en la práctica es que la densidad en el gas es inferior (8%) y el límite de emisión chileno es 8% más alto que cualquier cifra dada en la norma de la Unión Europea.

4.2 Licor Negro

La quema de licor negro conlleva una mezcla de sustancias combustibles donde la trementina, el metanol, el jabón kraft y el *tall oil* son parte de ello. No hay normas especiales en cuanto a esto en la Unión Europea o en EE.UU., más bien todas las emisiones están cubiertas por las directrices dadas por la mejor tecnología disponible para ambos.

En la Figura 4 se ejemplifica el flujo de líquido en la planta de celulosa para una planta de celulosa europea.

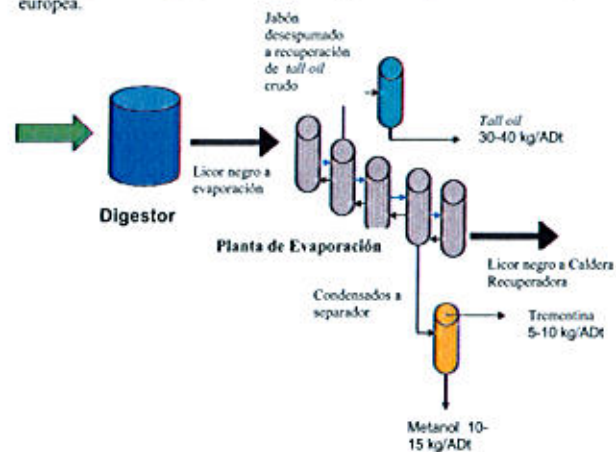


Figura 4. Ejemplo de flujos típicos de tall oil, trementina y metanol en una Planta Europea de celulosa de madera blanda.

En las BAT de la Unión Europea se dan los siguientes valores típicos para condensables. La "DQO es principalmente metanol (5-10 kg/ADt) con algo de etanol y una cantidad de compuestos sulfúricos orgánicos (1-2 kg/ADt TRS), 1-2 kilogramos de trementina y compuestos inorgánicos nitrosos. El condensado sucio contiene además cetonas, terpenos, fenoles, resina y ácidos grasos y diversos gases disueltos. Una gran proporción del nitrógeno descargado desde una planta de celulosa Kraft está contenida en los condensados".

La formación de NOx puede ser inhibida usando *tall oil* según lo determinado en las BAT para el Horno de Cal. "Las concentraciones de NOx son de aproximadamente 100 mg/m³ cuando sólo se usa *tall oil*, hasta aproximadamente 900 mg/m³ con NCGs (Gases No Condensables) y metanol junto con polvo de corteza, gases de pirólisis o aceite fósil".

En las MACT 2 estadounidenses, sólo el metanol es ejemplificado - "El propietario u operador de cualquier horno nuevo de recuperación en una planta de celulosa kraft o de soda asegurará que la concentración de los contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP, por sus siglas en inglés) orgánicos gaseosos totales, medidos como metanol, descargados a la atmósfera no sea mayor a 0.012 kg/Mg (0.025 libras/toneladas) de sólidos de licor negro alimentados".

La recuperación de los subproductos como jabón, *tall oil*, trementina y metanol potencialmente tendrá un valor económico mucho más alto a medida que los combustibles fósiles se encarecen. Por esta razón, lo fundamental probablemente será recuperarlos y/o quemarlos adecuadamente.

4.3 Pesticidas

Los pesticidas son definidos por la EPA como "Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinada a impedir, destruir, repeler o atenuar cualquier plaga. Las plagas pueden ser insectos, ratones y otros animales, plantas no deseadas (malezas), hongos, o microorganismos como bacterias y virus. Aunque a menudo se malinterpreta refiriéndolo sólo a insecticidas, el término pesticida también se aplica a herbicidas, fungicidas, y diversas otras sustancias usadas para controlar plagas. Conforme a la ley de los Estados Unidos, un pesticida es también cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas para uso como un regulador, desfoliante o desecante de plantas".

El empleo de pesticidas en la silvicultura apunta a mejorar el prendimiento y crecimiento del árbol.

Cuando los árboles son cosechados, los pesticidas pueden lixiviar en el agua. El agua que contiene pesticidas tiene que ser tratada como residuo peligroso. La legislación europea para el empleo de pesticidas es restrictiva. Cuando se trata del manejo de pesticidas usados (y del material contaminado) se rige por el control según el Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles para las Industrias de Tratamientos de Residuos [11].

Los rayos ultravioleta (UV) pueden descomponer los pesticidas. Estos también son degradados por oxidación bacteriana e hidrólisis química. La estabilidad del pesticida a menudo es expresada como su vida media.

Los pesticidas no son una preocupación para los productores de celulosa nórdicos dado que está prohibido usarlos en otro momento diferente a durante el crecimiento de las plantas.

El EPA estadounidense tiene una autoridad especial para pesticidas, División de Pesticidas. Los pesticidas están regidos por tres leyes diferentes; Decreto Federal sobre Insecticidas, Fungicidas y Fumigación de Roedores (FIFRA); Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) y Ley de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Medioambiental Total (CERCLA).

Los pesticidas y los residuos de éstos deben ser tratados como residuos peligrosos, ya sea en la Unión Europea o en Estados Unidos. La clasificación de cualquier elemento tratado con pesticidas exigirá la incineración de desechos y muy probablemente la temperatura más alta (1 100°C) cuando se incinere conforme al punto 3.1.2 anterior.

Tabla 4. Ejemplificación de pesticidas para silvicultura.

Pesticida	Persistencia	Vida media aeróbica	Degradación	CAS
Clopyralid	Baja a moderada	12 a 70 días	Microbios de suelo	1702-17-6
Dicamba		2 semanas	Microbios de suelo afectados por temperatura y humedad	1918-00-9 o 10007-85-9
Glyphosate	Moderada	Aproximadamente 60 días	Descompuesto por actividad microbiana	38641-94-0 o 81591-81-3
Hexazinone	Moderada	Típicamente 90 días	Microbios de suelo	51235-04-2
Imazapyr	Moderada	19-34 días, considerablemente más largo con tiempo frío	Descomposición por fotólisis	81334-34-1 o 81510-83-0
Metsulfuron metil		Típicamente 30 días	Hidrólisis química y microbios de suelo, afectados por temperatura, pH, oxígeno y humedad	74223-64-6
Picloram		Típicamente 90 días, (puede ser hasta 1 año)	Fotólisis	1918-02-01
Sulfometuron metil	Breve	20-28 días	Microbios de suelo, ineficaz en mezcla de agua en menos de 48 horas	74222-97-2
Triclopyr	Moderada a breve	Típicamente 30 días (10 a 46 días), en agua rápida <10 horas	Microbios de suelo y fotólisis	55335-06-3

Información recopilada de la Agencia Química Sueca y www.bugwood.org

Es de extrema importancia observar que estos ejemplos dan variables en la vida media dependiendo de la humedad, la temperatura, el pH y el oxígeno. En la evaluación de un caso específico, se deben estudiar las condiciones locales y la tabla anterior sólo debería ser vista como una pauta.

Utilizando la multiplicación de vida media anterior es posible hacer un cálculo sobre los volúmenes de pesticidas que entran a una planta de celulosa, como ejemplo, y con las restricciones de aplicabilidad dada.

El cálculo está basado en los siguientes supuestos:

- 500 000 toneladas de madera por año
- 100 m² de madera por hectárea
- 3 kg de pesticida por hectárea
- 60 días de vida media
- 1 año desde el último tratamiento antes de la cosecha

Basado en los supuestos, el volumen total de pesticidas que entran a una planta de celulosa será menos que una tonelada (780 kilogramos). Parte de esto lixiviara en el manejo interno desde el patio de madera a la pulpa, parte quedará en la madera (dependiendo del pesticida usado) y la mayor parte estará en la corteza. Dado que están sólo a 2 ppm, sólo pueden ser detectado como un oligoelemento.

El verdadero punto aquí es que si el tiempo desde el tratamiento con pesticida a la cosecha es sólo medio año, el volumen será ocho veces más alto (2³). Eso probablemente no será considerado como oligoelemento.

No hay referencias para pesticidas dentro de las BREF (referencias de la mejor tecnología disponible) de la Unión Europea para Celulosa y Papel. Dentro de las BREF para la Incineración de Residuos hay referencias para los pesticidas como tales, pero no para el material que lleva oligoelementos de éstos.

Según la Agencia Sueca de Protección del Medioambiente, las sustancias reguladas decrecientes tales como los pesticidas no son regulados en las directivas, ni el tiempo o concentración mínima requerida para no ser considerado como residuo peligroso.

4.4 Lodos

Los lodos pueden ser primarios, secundarios o terciarios. Primario significa residuos de fibra sedimentados de la fabricación de celulosa que pueden ser tratados a 50 % SS (Sólidos Secos). Los lodos secundarios son residuos del tratamiento de agua biológico en forma de lodo activo lixiviado que puede ser secado a 30-35 % SS. El lodo terciario es la lixiviación química de las sales que alcanzan sólo alrededor de 10-15 % SS, lo que no es combustible, más bien un candidato para la destrucción.

Los dos primeros lodos por lo general son usados como combustible en el proceso de pulpaje (caldera auxiliar) mientras el lodo terciario sólo es eliminado dado que no queda calor latente después del secado/combustión.

5 Conclusiones

Las normas de emisión establecidas por las autoridades chilenas están en línea tanto con la legislación de la Unión Europea como con la legislación estadounidense. La diferencia radica más en cómo enfrentar las exigencias y el tiempo necesario para implementar la mejor tecnología disponible para satisfacer los estrictos requisitos.

El combustible para la industria forestal que proviene de la operación propia es excluido de las directivas para desechos en la Unión Europea. La misma exclusión no ha sido encontrada en la legislación estadounidense. Esta exclusión es absolutamente natural tanto de la fuente interna de energía así como del costo externo del manejo de desechos.

Los límites de emisión de material particulado están en línea tanto con la legislación estadounidense como con la legislación de la Unión Europea, 30- 50 mg/Nm³. Cuando se trata de los límites de emisión de SO_x, NO_x, CO y COT en la norma de la Unión Europea, éstos dependen de la capacidad de la instalación y si el combustible es biomasa, líquido o gas. En general, una capacidad inferior tiene límites de emisión relativamente más altos y el combustible líquido y la biomasa son cercanos uno al otro, pero los combustibles gaseosos son sólo una fracción de los otros dos.

Los límites de emisión para metales pesados, HCl, dioxinas y furanos son inferiores en la norma de la Unión Europea comparada a la norma chilena. En la comparación de límites de emisión hay una exigencia para establecer el nivel de oxígeno para igualar la emisión. Las autoridades chilenas usan una temperatura estándar diferente (25°C) a la usada en la norma de la Unión Europea (0°C). La consecuencia en la práctica es que la densidad en el gas es inferior (8%) y el límite de emisión chileno es 8% más alto que cualquier cifra dada en la norma de la Unión Europea.

Los componentes condensables recuperables como el *tall oil*, jabón, metanol y la trementina del licor negro y su uso han sido ejemplificados. Tanto en la norma de la Unión Europea como en la de los Estados Unidos (BREF/MACT), éstos son considerados como subproductos complementarios que pueden ser usados para necesidades de calefacción internas. En las BAT de la Unión Europea un descenso de las emisiones de NO_x puede lograrse cargando un horno de cal con *tall oil* puro. En las MACT estadounidenses la emisión de metanol es limitada.

La recuperación de los subproductos como jabón, *tall oil*, trementina y metanol potencialmente tendrá un valor económico mucho más alto a medida que los combustibles fósiles se encarecen. Por esta razón, lo fundamental probablemente será recuperarlos y/o quemarlos adecuadamente. Los lodos primarios y secundarios preferentemente pueden ser usados como combustible en la producción de celulosa, mientras que el lodo terciario que tiene menos valor puede ser manejado internamente.

La industria maderera es una fuente de materia prima para las plantas de celulosa y para calefacción. Los subproductos provenientes de tales operaciones, normalmente son considerados como biomasa virgen sin ninguna restricción, ya sea en la Unión Europea o en los Estados Unidos. Los mecanismos de control comienzan cuando hay un tratamiento químico.

Se define la madera químicamente tratada y el término usado para cualquier tratamiento externo de la madera que causa o se espera que cause residuos de especies controladas. Las astillas de madera y el polvo proveniente de aserraderos y de la industria maderera con residuos de adhesivo son ejemplo de esto que se rige por normas de incineración de desechos, donde el nivel de oxígeno, la temperatura y el tiempo de residencia deben cumplirse.

Si hay presencia de pesticidas en la corteza o la madera, esto cae bajo la norma de incineración de residuos con exigencias para temperatura, tiempo y nivel de oxígeno durante la combustión.

6 Apéndice

1. Información recopilada sobre los límites de emisión europeos, basados en IPPC y BREF

7 Referencias

1. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control (IPCC).
2. Council directive 2000/76/EC of 4th of December 2000 concerning Waste incineration.
3. Council directive 2006/12/EC of the 5th of April 2006 regarding the definition of waste material.
4. Council Directive 91/689/EEC of 12 December 1991 regarding hazardous waste.
5. Reference Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry, December 2001, [<http://eippcb.jrc.es>]
6. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August 2006, [<http://eippcb.jrc.es>]
7. REGULATION (EC) No 1907/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency.
8. The Clean air act, 42 U.S.C. 7401- 7671, February 24, 2004.
9. 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Industrial, Commercial, and Institutional Boilers and Process Heaters; Final Rule
10. PART 63 - NATIONAL EMISSION STANDARDS FOR HAZARDOUS AIR POLLUTANTS FOR SOURCE CATEGORIES, 42 U.S.C. 7401 et seq., Subpart MM -- National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants; Proposed Standards for Hazardous Air Pollutants from Chemical Recovery Combustion Sources at Kraft, Soda, Sulfite, and Stand-Alone Semichemical Pulp Mills.
11. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries, August 2006; [<http://eippcb.jrc.es>]

Uso de desechos de tableros de madera reconstituida con adhesivo fenol formaldehído como biomasa forestal en la coincineración a la luz del Decreto Supremo DS 45.

Oxiqum S.A. como fabricante de adhesivo fenol formaldehído y en base a un trabajo bibliográfico realizado ha llegado a las siguientes conclusiones respecto al uso como biomasa forestal de desechos de madera que contienen colas fenólicas en la coincineración.

Dioxinas y Furanos.

Las dioxinas y furanos, para formarse, requieren la coexistencia de tres elementos:

- Una fuente de materia orgánica o fuente de carbono (combustible fósil: madera, gasoil, etc.);
- Una fuente de cloro (envases, cañerías de PVC, compuestos clorados, maderas tratadas con compuestos clorados, etc.)
- Un ambiente de reacción (cámara de combustión, incendio, etc...) donde se puedan combinar los elementos descritos anteriormente.

La resina fenol formaldehído no contiene compuestos clorados por lo que la posibilidad de formación de dioxinas y furanos es nula. Por su parte la reacción de formación de dioxinas y furanos se produce a temperaturas entre 250° y 400° C, a la temperatura de 850° C en que se desarrolla la coincineración no es viable la formación de dioxinas y furanos, aún cuando hubiese una fuente de cloro no considerada (contaminación, trazas de cloro acumulado naturalmente en la madera, otros) (1) (2) (3) (4) (5) (6)

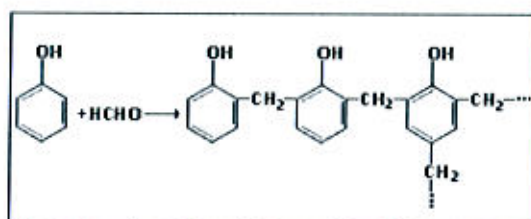


Fig.1 Resina Fenol Formaldehído

Benceno

La resina fenólica (ver Fig.1) contiene compuestos aromáticos o anillos bencénicos ya que su principal materia prima es el fenol (hidroxibenceno). Sin embargo, la combustión



del fenol y sus polímeros no producen benceno, produce dióxido de carbono y agua y esta regida por la siguiente ecuación química:



Hay que considerar que una de las metodologías autorizadas a nivel mundial para eliminar desechos fenólicos es la combustión completa.

Por su parte el benceno tiene una estabilidad térmica muy baja y considerando las condiciones de temperatura en la combustión de las Calderas de Biomasa, de haber trazas de benceno (contaminación, contenido naturalmente en la madera, otro), este sería descompuesto en su totalidad. (6) (7) (8) (9) (10)

Metales Pesados y otros

En las formulaciones de la resina fenol formaldehído no se utilizan metales tales como cadmio, berilio, plomo, arsénico, cobalto, níquel, selenio, antimonio, cromo, manganeso y vanadio y ninguno de sus compuestos.

En las formulaciones de la resina fenol formaldehído no se utiliza ácido clorhídrico ni ácido fluorhídrico.

CONCLUSION

Por lo anteriormente expuesto consideramos que los desechos de tableros preparados con resina fenol formaldehído pueden ser utilizadas como biomasa ya que no es posible la generación de furanos, dioxinas ni benceno, tanto por su composición química como por la temperatura de combustión, además estos tableros no contienen metales pesados, ni presentan trazas de ácido clorhídrico ni fluorhídrico ya que no se utilizan estos productos químicos en su formulación.

Referencias Bibliográficas

- (1) Instituto de Inspección Alimentaria y Vegetariana, Ministerio de Sanidad, República de Bélgica, Junio de 1999.
- (2) K. Gregor Rigo, Rigo & Rigo Associates, Departamento de Salud de Columbus, Ohio, Diciembre de 1994.
- (3) Beck H, Eckart K., Mathar W., Wittkowski R., PCDD's and PCDF's body burden from food intake in the Federal Republic of Germany. *Cemosphere*, 1989; 18: 417-424.
- (4) Poland, A. and Knutson, J. C. (1982) 2,3,7,8 -tetraclorodibenzo-p-dioxinas y compuestos aromáticos halogenados relacionados: revisión del mecanismo de toxicidad, a.C. *Revista Pharmacol Toxicol*, 22,517-554.
- (5) Safe, S.H. (1986) Comparative Toxicology and mechanism of action of polychlorinated defense-p-dioxins and dibenzofurans *Ann. Rev. Pharmacol Toxicol*, 26,371-399
- (6) D.J. Hansen, *Chem. and Eng. News*, 7 March (1993).
- (7) D.H. Taylor, *Env. Science and Technology*, 23, 316 (1990).
- (8) R.M. Heck and R.J. Farrauto "Catalytic Air Poll. Control", J. Wiley & Sons, 147 (1995).
- (9) J.F. Straitz, *Env. Eng. World*, 18 Agosto 1995.
- (10) B. Hileman, *Chem. Eng. News* 9, March 1998

INFORME TECNICO**Aplicabilidad TABLA N° 3 del DS 45/07 al sector Industrias de
Tableros y Chapas****MANDANTE: Departamento de Tableros y Chapas de CORMA de la
Región del Bio-Bio y de la Región de los Ríos****UNIDAD EJECUTORA :Departamento de Ingeniería en Maderas
Laura Reyes Núñez
Profesor Asociado****CONCEPCION, 18 de Julio de 2008.**

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Tableros y Chapas de CORMA de la Región del Bio-Bio y de la Región de los Ríos solicitó a la Universidad del Bío-Bío, a través del Departamento de Ingeniería en Maderas, un informe de experto de las emisiones gaseosas generadas por la combustión de biomasa forestal constituida por corteza, aserrín, y residuos del proceso (restos de tableros) generados en las industrias de tableros y chapas.

Desde el punto de vista químico la biomasa forestal está constituida por compuestos orgánicos de bajo peso molecular (extraíbles) y polímeros (celulosa, hemicelulosas y lignina); y compuestos inorgánicos (cenizas).

En nuestro país la biomasa se obtiene mayoritariamente de 2 especies exóticas, pino radiata y eucaliptus cuya composición química se presenta en la tabla N° 1. Los compuestos orgánicos durante la combustión generan, además de calor, emisiones gaseosas cuya composición depende de la temperatura, del oxígeno en exceso y del tiempo de residencia del combustible.

Tabla N° 1 Composición química de madera (Mansilla et al., 1991)

Especie	Extraíbles %	Celulosa %	Hemicelulosas %	Lignina %	Cenizas %
Pino radiata	1.8	27.5	45.6	28.2	0.46
Eucaliptus	5.1	20.0	43.3	33.2	0,34

Los compuestos inorgánicos constituyen principalmente las cenizas, sin embargo, una pequeña parte de ellos pueden formar parte del material particulado de las emisiones gaseosas. En la Tabla N° 2 se muestran los elementos metálicos detectados, mayoritariamente, en las cenizas de madera de pino y eucaliptus y que son los únicos metales que la madera aportaría en el material particulado.

Tabla N° 2 Elementos metálicos contenidos en cenizas de madera (Mansilla et al., 1991)

Especie	Cenizas %	Calcio Ca (ppm)	Magnesio Mg (ppm)	Sodio Na (ppm)	Manganeso Mn (ppm)	Zinc Zn (ppm)	Fierro Fe (ppm)
Pino radiata	0,46	532	268	20	154	20	67
Eucaliptus	0,34	860	264	30	50	5	31

OBJETIVO

El objetivo de este estudio es analizar la aplicabilidad de la Tabla N° 3 del DS 45/07 a las instalaciones de combustión de biomasa proveniente de la Industria de Tableros y Chapas

Tabla N° 3 Valores Límites de Emisión para Instalaciones Forestales que Coincineren Biomasa Forestal Tratada

Contaminante	Valor Límite de Emisión (mg/Nm ³).
Material Particulado (MP10)	50
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Monóxido de Carbono (CO)	50
Mercurio y sus compuestos, indicados como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicados como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicados como metal (Be)	0,1
Plomo y sus compuestos, indicados como metal (Pb)	1
Arsénico (As)+Cobalto (Co)+ Níquel (Ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos, indicados como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb)+ Cromo (Cr)+ Manganeso (Mn)+ Vanadio (V)	5
Compuestos Inorgánicos clorados gaseosos, indicados como ácido clorhídrico (HCl)	3
Compuestos Inorgánicos fluorados gaseosos, indicados como ácido fluorhídrico (HF)	5
Benceno (C ₆ H ₆)	5
Dioxinas y furanos TEQ ¹	0,2 ng/Nm ³

¹TEQ: Factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998.

METODOLOGIA

Una vez analizada la Tabla N° 3 del DS45/07, se realizó una revisión bibliográfica de la información que permitiera conocer el comportamiento de la biomasa que se combustiona en las industrias de tableros y chapas.

A continuación se recopila la información de los diferentes tableros fabricados, los componentes químicos adicionados, especialmente los adhesivos o resinas, y los residuos generados en las etapas de formateo, lijado y terminación.

En base a esta información y los antecedentes bibliográficos recopilados se analizan las emisiones de la Tabla N° 3 del DS45/07.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los productos elaborados en la industria de tableros son los siguientes: tableros contrachapados, tableros de partícula o aglomerados, tableros de densidad media (MDF) y tableros de densidad alta (HDF).

La materia prima utilizada en los procesos de tableros es madera en forma de chapas, aserrín, viruta y fibras y su composición química se muestra en las Tablas N° 1 y N° 2.

En la Tabla N° 4, se muestra el tipo de biomasa combustionada en la industria de tablero y chapas de la Región del Bio-Bio y la Región de Los Ríos (información proporcionada por las empresas).

Tabla N° 4

PRODUCTOS	Resina, aditivos y revestimientos	Biomasa proveniente de residuos del proceso.
<u>Tableros Contrachapados</u>	FF (Fenol- formaldehído) Pasta de retape	Chapas encoladas, trozos de tableros, polvo de lijado, papel de revestimiento impregnado con FF.
<u>Tableros de Partículas (Aglomerados)</u>	UF (Urea-formaldehído) FF (Fenol- formaldehído) Papel melamínico	Trozos de tableros, polvo de lijado, papel de revestimiento impregnado con melamina, con UF y / o FF.
<u>Tableros de Densidad Media (MDF)</u>	UF (Urea- formaldehído) Papel melamínico	Trozos de tableros, polvo de lijado, papel de revestimiento impregnado con melamina, con UF y / o FF, tozos de molduras de MDF.
<u>"Tableros de Densidad Alta (HDF)"</u>	FF (Fenol- formaldehído)	Trozos de Tableros Picados.

A continuación se presenta la composición química de los adhesivos (resinas)

UREA-FORMALDEHIDO

Es la resina utilizado en tableros de fibra de densidad media y se forma a partir de urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y aldehído fórmico HCHO . Su forma polimérica lineal se muestra en la Figura 1.

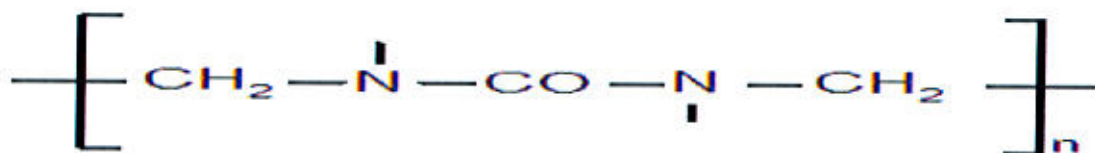


Figura 1.- Adhesivo Urea-formaldehído (Rowell, 1984)

FENOL-FORMALDEHÍDO

La resina utilizada en tableros resistentes a la humedad o de uso externo: tableros de partícula o aglomerados y contrachapados. Está constituido por fenol, anillo de 6 carbonos de fórmula $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ y aldehído fórmico HCHO . Su forma polimérica se muestra en la Figura 2.

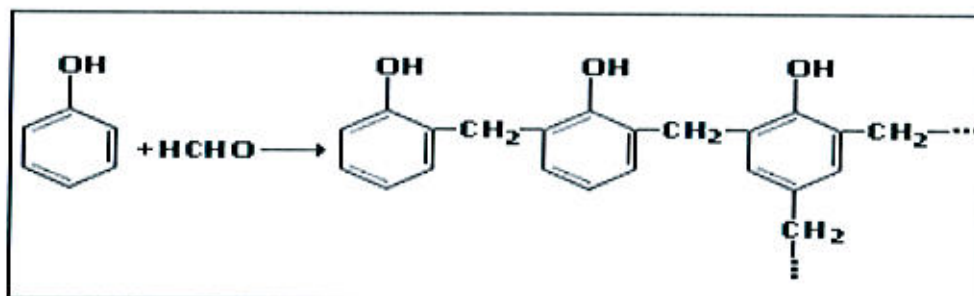


Figura 2- Adhesivo Fenol Formaldehído (Rowell, 1984)

Otros aditivos

En una proporción menor, se utilizan aditivos en la fabricación de tableros como son la melamina y la pasta de retape.

MELAMINA es una base orgánica cuya fórmula es $C_3H_6N_6$, según la IUPAC su nombre es 1,3,5-triazina-2,4,6-triamina. Levemente soluble en agua. Se utiliza en mezcla con formaldehído y urea en algunos tipos de tableros como aditivo y en papel para revestimiento.

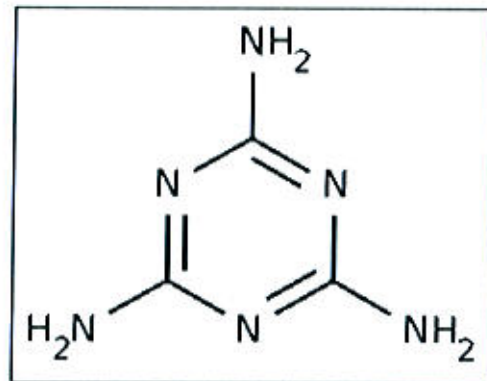


Figura 3.- Melamina (a)

La combustión de estos componentes orgánicos generará mayoritariamente CO_2 y H_2O en condiciones de combustión de $850\text{ }^\circ\text{C}$, exceso de aire para mantener condiciones oxidantes y tiempo de residencia de 2 segundos (2000/76/EC).

La pasta de retape utilizada en molduras de MDF corresponde a carbonato de calcio y PVA. Por otro lado, el polvo de lijado puede contener compuestos de silicio (sílice, cuarzo, diamante), óxido de aluminio y otros compuestos inorgánicos provenientes del papel de lija utilizado (Avaria, 1992), los que forman parte de las cenizas y en muy baja proporción salen como partículas en las emisiones gaseosas.

En la Tabla N°3 correspondiente al DS 45/07, objeto de este estudio, se presentan los valores límites de emisión para instalaciones forestales que coincineran biomasa forestal tratada. En ella se incluyen los siguientes parámetros:

Material particulado. 50 mg/Nm³ (DS 45/07)

Al incinerar trozos de tablero, polvo de lijado, restos de la mezcla fibra, aserrín, virutas y chapas con adhesivo y adhesivo fraguado, el material particulado contenido en los gases que salen al ambiente está constituido por restos de carbón sin quemar y partículas de ceniza entre otras.

Las emisiones de partículas en los ensayos de Risholm- Sundman y Vestin, (2005) son similares a las emisiones de madera y pellets de madera, y un mayor o menor valor de este parámetro producto de la combustión de tableros, no puede atribuirse a las resinas utilizadas.

COT: carbono orgánico total: 20 mg/ Nm³ (DS 45/07)

Es una medida de los hidrocarburos que contienen los gases de combustión de madera y tableros incinerados en condiciones inadecuadas. Este valor es mayor en las emisiones domiciliarios donde la combustión de leña se realiza sin control de las 3 variables que aseguran un valor bajo de COT. Un mayor o menor valor de este parámetro, producto de la combustión de tableros, no puede atribuirse a las resinas utilizadas.

CO : Monóxido de carbono: 50 mg/ Nm³ (DS 45/07)

Es un gas incoloro, inodoro y tóxico. Se forma durante una combustión incompleta de todos los combustibles como madera y restos de tableros. Al aire libre el CO no es muy peligroso para las personas ya que se transforma rápidamente en CO₂ con el oxígeno del aire. (TESTO)

En incineración de tableros contrachapados se han definido límites entre 45-65 mg/m³, para 11% de O₂ en exceso.(VTT Processes, 2008).

En este caso, un mayor o menor valor de este parámetro, producto de la combustión de tableros, no puede atribuirse a las resinas utilizadas.

Compuestos inorgánicos clorados: 30 mg/Nm³ (DS 45/07)

Ya que las resinas y los aditivos analizados anteriormente, no contienen elementos clorados en las emisiones gaseosas no habrá compuestos inorgánicos clorados.

Compuestos inorgánicos fluorados: 5 mg/Nm³ (DS 45/07)

No se encontraron valores medidos o rangos aceptados en gases de incineración de biomasa. La formación de estos compuestos halogenados puede ser resultante de la combustión de carbón mineral o combustibles residuales "petcoke" (TESTO), pero no de la biomasa utilizada en la industria de tableros.

Benceno: 5 mg/Nm³ (DS 45/07)

Este compuesto no se genera durante la combustión de la biomasa utilizada en la industria de tableros, ya que es propio de la combustión de madera a contenido de humedad alto y madera (leña) de grandes dimensiones, donde prevalece el proceso de pirólisis (Bridgwater, 1984). Por ello, y un mayor o menor valor de este parámetro producto de la combustión de tableros, no puede atribuirse a las resinas utilizadas.

Dioxinas y furanos 0.2 ng/Nm³ (DS 45/07)

Las pruebas realizadas en 30 plantas de variados diseños y usando diferentes tipos de biomasa tratada con y sin tratar se observó aumento en las emisiones de dioxinas y furanos cuando la combustión era deficitaria en oxígeno con altas concentraciones de monóxido de carbono. En biomasa tratada que contenía cloro y la revestida con PVC, las emisiones eran 0.2 y 0.3% respectivamente; mientras que la madera no tratada y la corteza emitían 0.001 y 0.1% respectivamente. (Uloth y van Heek, 2008).

Para la formación de dioxinas y furanos debe haber fenoles y cloro incinerados a temperaturas menores a 850 °C, situación que no se da en la industria de tableros y chapas.

Mercurio y sus compuestos: 0,1 mg/Nm³ (DS 45/07) pueden provenir de impurezas de la soda, usada para regular viscosidad de adhesivos.

Cadmio y sus compuestos: 0,1 mg/Nm³ (DS 45/07)

Berilio y sus compuestos: 0,1 mg/Nm³ (DS 45/07)

Plomo y sus compuestos :1 mg/Nm³ (DS 45/07)

As +Co+Ni+Se+Te y sus compuestos: 1 mg/Nm³ (DS 45/07)

Sb +Cr+Mn + Va y sus compuestos: 5 mg/Nm³ (DS 45/07)

Estos metales y no-metales no se mencionan en la literatura revisada, sin embargo, su presencia podría provenir de las partículas de éstos arrastrados por los gases, cuando se usan aceros especiales como el caso de vanadio. Sin embargo, esta situación no se da en la industria de tableros y chapas.

Risholm- Sundman y Vestin, (2005) demostraron que las emisiones gaseosas de la combustión de chapas encoladas preparadas a escala de laboratorio, tableros de partículas y adhesivos industriales fraguados; eran similares a las de madera y pellets de madera cumpliendo con la normativa europea 2000/76/EC.

CONCLUSIONES

El análisis anterior muestra que la biomasa incinerada en las industrias de tableros y chapas de la Región del Bio- Bio y la Región de Los Ríos, no genera emisiones distintas a la biomasa no tratada, a una condición de temperatura mayor o igual 850° C y aire que asegure condiciones oxidantes, con a lo menos 2 segundos de tiempo de residencia.

Lrn/lrn/18/07/2008

BIBLIOGRAFÍA

Avaria, P. (1994) "Análisis técnico de las variables del proceso de lijado para tableros", seminario de titulación, Ing. de ejecución en Maderas, UBB. Concepción.

AMEC Forest Industry Consulting (2002) "Multi-pollutant Emission Reduction Analysis Foundation (MERAFA) for the Lumber and Allied Wood Products Sector", 2002; *Prepared for* :Environment Canada and The Canadian Council of Ministers of Environment (CCME);

Bridgwater, A (1984) "Thermochemical Conversion of Biomass", pág 11-59, Butterworths Ed., UK.

Mansilla H. et al. (1991) "Chemical Characterization of Chilean Hardwoods", Wood Science and Technology, 25:145-149, Springer Verlag, Alemania.

2000/76/EC, Norma Europea de Incineración de Residuos.

Risholm- Sundman¹ M. y E. Vestin¹ (2005) "Emissions during combustion of particleboard and glued veneer" , Holz als Roh- und Werkstoff, Volume 63, Number 3 / pag. 179-185_1 (1) Casco Adhesives AB, Box 11538, 10061 Stockholm, Sweden.

Rowell, R (1984) "The Chemistry of solid wood", Advanced in Chemistry Series 207, pág. 323-348, American Chemical Society.

TESTO, "Análisis de gases de combustión en la industria", Guía práctica para medir emisiones y procesos 2ª edición, capítulo 2, Alemania

Uloth, V y Ron van Heek "Dioxin and Furan Emission Factors for Combustion Operations in Pulp Mills" www. NPRI dioxin_combustion_e.cfm.htm, julio 2008

VTT Processes (2008) "Flue gas emissions from cofiring of by-products of plywood and particle board industries" - PUUT25, Finlandia, Organisation: VTT Processes

a. - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Melamine.svg>, Julio, 2008

Concepción, 21 de Julio de 2008

CERTIFICADO

Cristian Westermeyer, Gerente General de Resinas del Bio-Bio S.A. (REBISA) certifica que la empresa que representa produce resinas sintéticas del tipo fenol-formaldehído (PF), urea-formaldehído (UF) y melamina-formaldehído (MF).

Las resinas antes mencionadas son usadas como adhesivos por la industria de tableros en Chile.

También ratifica que las resinas sintéticas fabricadas por REBISA no contienen en su formulación, metales pesados, dioxinas, furanos, fluoranos o cloruros.

Las resinas sintéticas antes mencionadas tampoco contienen compuestos clorados.

A la temperatura de 850°C y en presencia de exceso de aire, condiciones en que se produce la combustión de los desechos de tableros en base a madera (contrachapados, tableros aglomerados, tableros densidad media y door skin) la combustión del fenol, hidroxibenceno, melamina y demás compuestos orgánicos y sus polímeros, sólo produce dióxido de carbono y agua.