



INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

PREPARADO POR:
**Unidad de Desarrollo Tecnológico,
Universidad de Concepción**

PARA:
**Ministerio del Medio Ambiente
Región Metropolitana de Santiago**

19 de abril de 2012

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

INDICE

INDICE	2
SIGLAS Y ABREVIATURAS	8
1. INTRODUCCION	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. RESULTADOS	14
3.1 Análisis de la tendencia de la regulación internacional de las emisiones al aire, de calderas y procesos de combustión del sector industrial, comercial y residencial.	14
3.1.1 Sector Industrial.	14
3.1.1.1 Calderas Industriales en general.	14
3.1.1.2 Industria Siderúrgica.	40
3.1.1.3 Refinación de Petróleo.	41
3.1.1.4 Fabricación de cemento y cal.	41
3.1.1.5 Fabricación de celulosa y papel.	45
3.1.1.6 Fabricación de vidrio.	45
3.1.1.7 Fabricación de baldosas cerámicas y artefactos cerámicos.	46
3.1.1.8 Otros Sectores industriales.	46
3.1.2 Sector comercial y residencial.	47
3.2 Análisis de la normativa vigente que regula o se vincula a las calderas y procesos de combustión del sector industrial, comercial y residencial.	52
3.2.1. Consistencia de la Normativa Nacional Relativo a Calderas y Procesos De Combustión	70
3.2.2. Análisis comparativo de la normativa nacional e internacional.	70
3.3 Análisis y descripción de los principales rubros y actividades económicas que caracterizan a cada región y del universo de calderas y procesos de combustión que se conocen en el sector industrial, comercial y residencial.	74
3.3.1 Recopilación de la Información Disponible	74
3.3.2 Registro de Caldera SEREMI's de Salud	74
3.3.3 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	82
3.3.4 Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)	96
3.4 Análisis sobre otros tipos de procesos de combustión que ameriten ser regulados.	106
3.5 Análisis y descripción de las disponibilidades y tipos de combustibles que se consumen a nivel regional.	111
3.5.1 Consumo de Combustibles a Nivel Nacional y Regional	111
3.5.2 Consumo de Combustibles por Sectores	124

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

3.6	Análisis sobre el tipo y nivel de emisiones a partir del uso de distintos combustibles y la factibilidad técnica, económica e institucional de introducir mejoras a los combustibles más sucios.	131
3.6.1	Análisis Internacional para tipos de combustibles.	131
3.6.2	Análisis Nacional para tipos de combustibles.	137
3.6.3	Factores de Emisión por tamaño, rubro y combustible.	138
3.7	Estudio de reducción de emisiones y sus costos, a partir de: mejoras en el combustible, mejoras tecnológicas, mejoras operacionales, medidas de eficiencia energética, otras.	148
3.7.1.	Mejoras en el combustible	148
3.7.2	Mejoras tecnológicas y eficiencia energética en calderas.	150
3.7.2.1	<i>Material Particulado</i>	151
3.7.2.2	<i>Óxidos de Azufre</i>	155
3.7.2.3	<i>Óxidos de Nitrógeno</i>	159
3.7.2.4	<i>Medidas de eficiencia energética</i>	164
3.7.3	Mejoras tecnológicas en otros procesos de combustión	174
3.7.3.1	<i>Material Particulado</i>	174
3.7.3.2	<i>Óxidos de Azufre</i>	176
3.7.3.3	<i>Óxidos de Nitrógeno</i>	178
3.8	Discusión y recomendaciones para el diseño de la regulación	181
3.8.1.	Consideraciones y supuestos metodológicos.	181
3.8.2.	Definición de criterios y propuestas para el diseño de una futura norma de emisión para calderas y equipos de combustión.	188
3.8.2.1	Definición del tipo de fuentes a regular.	189
3.8.2.2	Contaminantes a considerar.	190
3.8.2.3	Definición del tamaño de fuentes a regular.	191
3.8.2.4	Tipos de combustibles.	201
3.8.2.5	Gradualidad de la futura norma.	202
3.8.2.6.	Norma Neutra o Norma diferenciada.	203
3.8.3.	Niveles de emisión en función de la Capacidad Térmica y combustible utilizado.	204
3.9	Tabla Resumen de Normativas	212
4.	RECOMENDACIONES	230
5.	CONCLUSIONES	231
6.	BIBLIOGRAFÍA	235
7.	ANEXOS	245

RESUMEN EJECUTIVO

El Programa estratégico de normas 2007-2009, contenido en la Resolución Exenta N° 285 de 24 de marzo de 2010 del actual Ministerio del Medio Ambiente (ex CONAMA), contiene una serie de normas ambientales que se han priorizado para elaborar en nuestro país, entre estas, una norma de emisión para calderas, la cual se debe elaborar durante el periodo 2011 al 2014. En función de lo anterior la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción desarrolló, por encargo del Ministerio del Medio Ambiente, el proyecto "Antecedentes para elaborar una norma de emisión para calderas y procesos de combustión en el sector industrial, comercial y residencial". El objetivo principal de este estudio es contar con un análisis y recomendaciones que permitan apoyar la formulación de una norma de emisión para calderas y procesos de combustión del sector industrial, comercial y residencial.

El proyecto ha sido desarrollado entre septiembre del 2011 y marzo del 2012 e incluye las actividades definidas para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Las principales conclusiones respecto al proyecto ejecutado corresponden a:

- La regulación internacional vinculado con las pequeñas instalaciones de combustión establece límites de emisión para el material particulado, monóxido de carbono y carbono orgánico total, tomando en consideración principalmente combustibles sólidos (carbón y biomasa).
- La normativa nacional vigente que regula las calderas y procesos de combustión presenta aspectos generales y superficiales, sin especificar parámetros operacionales. Además, no se diferencian los límites de emisión respecto del combustible utilizado, capacidad térmica y antigüedad de las fuentes.
- Analizando la regulación nacional vigente se observa que el DS N° 48/1984 del MINSAL establece fundamentalmente condiciones de seguridad y de operación para calderas, pero no regula en cuanto a niveles de emisión de contaminantes ni en cuanto a los equipos de control de emisiones. Además, se observó que los registros administrados por cada uno de los servicios de salud regionales no cumplen con el mínimo de información requerida por el Decreto, por lo que resulta difícil obtener información confiable para obtener tasas de emisiones.
- A partir de los datos del RETC se identificaron 9.429 fuentes de emisión, las que se clasificaron de acuerdo al sector al que pertenecen (industrial, comercial o residencial) y los niveles de emisión asociados. Además, se identificaron los

principales rubros industriales responsables de las emisiones de partículas totales suspendidas (PTS), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y mercurio (Hg). Estos rubros son: generación eléctrica, minería, fabricación de cemento y cal, refinación de petróleo, fabricación de productos plásticos, fabricación de productos químicos, elaboración de alimentos, fabricación de celulosa y papel, fabricación de vidrio, industria siderúrgica y fabricación de cerámicas y ladrillos.

- Las regiones con mayores emisiones de partículas totales en suspensión, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre son la de Antofagasta y del Bio Bio. Las mayores emisiones de monóxido de carbono se detectaron en la región del Bio Bio.
- En base a los registros de calderas y generadores de vapor se cuentan con 4.159 equipos, de los cuales fue posible obtener la capacidad térmica en función del combustible utilizado de 1.789 equipos.
- El 59% de las calderas registradas se concentran en las regiones del Bio Bio, Araucanía y Los Lagos.
- A partir de los datos obtenidos del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) se observa que a nivel nacional la mayor cantidad de proyectos fabriles con calderas se ubican en las Regiones Metropolitana (37%), BioBio (17%) y Los Lagos (10%), perteneciendo la totalidad de estos proyectos a las tipologías k1 (Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior 2.000 KVA) y h2 (Urbanizaciones y/o loteos con destino industrial de una superficie igual o mayor a 200.000 m²; o aquellas instalaciones fabriles que tengan una potencia instalada igual o superior a 1.000 KVA. Industria de celulosa, pasta de papel y papel) indicadas en el Decreto Supremo N° 95.
- Al considerar una futura norma de calderas de combustión, hay que tener especial cuidado en ver la posibilidad de considerar los siguientes rubros: Fabricación de acero, Refinerías de petróleo, Fundiciones de metales diferentes a cobre, fabricación de vidrio, producción de cerámica, fabricación de cemento, fabricación de cerámicas, fabricas de ladrillo y azulejos, producción de pulpa, producción de concreto asfáltico. Por ejemplo, el RETC señala para las fuentes: alto horno, batería de coque y acería de conox, corresponden a procesos sin combustión debido a que no usan combustible externo, sino que un combustible generado en el proceso.
- Los procesos industriales utilizan mayoritariamente Combustible N° 6, seguido por el N° 5. Algunas pequeñas instalaciones usan algo de diesel.

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

- Según el ENIA para el año 2008, las regiones con mayor consumo de petróleo combustible N° 5 y N° 6, son la región del BíoBío (28,3%, esto se debe a que se concentra la mayor actividad industrial), le sigue la Región Metropolitana (23,4%), la región de Antofagasta (18,3%) y la región de Valparaíso (7%). Por el contrario, según la SEC las regiones con mayor consumo de petróleo N° 5 y N° 6 son BíoBío (34,6%), Antofagasta (18,3%), Tarapacá (9,6%), Metropolitana (8%) y de O'Higgins (7,6%).
- El petróleo diesel es consumido principalmente por la industria minera y la leña es consumida por la industria del papel, celulosa (se debe a la generación de energía en estas industrias, a partir de los residuos de la madera que no son procesados) e industrias varias (principalmente Pymes, tal como fabricas de cecinas, panaderías).
- A nivel internacional, se busca reducir el contenido de azufre en los combustibles, es por ellos que las legislaciones internacionales al respecto indican niveles entre 0,3 y 4% S, siendo Estados Unidos y Suecia los países más restrictivos. Por otro lado, los países más permisivos son Francia, Portugal, España, Bélgica e Italia.
Cabe señalar, que actualmente en Chile el combustible N° 5 y N° 6 contiene entre un 4 y 5% p/p de azufre, sin embargo en la Región Metropolitana (RM), este valor no debe superar el 1% p/p. Existe un documento, donde se propone reducir el contenido de azufre a 3% p/p para el resto del país. Dicho documento estuvo en consulta pública hasta el 5 de agosto de 2011, y da a conocer las nuevas especificaciones de calidad de los combustibles a reglamentar por el Ministerio de Energía en cumplimiento a los estipulado en el D.S. N° 77, del 2004, del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción.
- Para la elaboración de una propuesta normativa se establecieron los siguientes criterios: tipo de fuente, contaminantes, tamaño de fuente, tipos de combustibles, gradualidad y enfoque.
- Las fuentes a considerar son las calderas y generadores de vapor, dejando de lado otros procesos de combustión, dado que cada proceso en particular difiere del resto en cuanto a su naturaleza y objetivos.
- Se propone considerar en la regulación a lo menos el material particulado, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, dado que existen normas primarias para estos compuestos y ya son regulados a nivel internacional. Se sugiere no considerar el monóxido de carbono, ya que su contribución a las emisiones totales es sólo de un 2 a 4% del total según los inventarios de emisiones.

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

- En todo caso, el beneficio que trae aparejar una regulación diferenciada por combustible es que permite orientar gradualmente las políticas ambientales al uso de combustibles menos contaminantes, por la vía de definir un estándar más exigente o más laxo a cada contaminante

- Se considera clave el criterio de gradualidad, no solo para aplicar la norma de emisión que se defina, sino que para aplicar con coherencia una política regulatoria para calderas y hornos, respecto de políticas de desarrollo social y económico. De otra forma se considera de difícil la aplicación de una norma, por exigente que sea, si no se adopta según las capacidades reales de adaptación que tengan las fuentes afectadas a esta nueva exigencia.

Este informe fue elaborado por:

- Marcela Zacarias, Ingeniero de proyectos, UDT.
- Carla Perez, Jefe Área Medio Ambiente, UDT.
- Claudio Zaror, Profesor Titular Depto. Ing. Química, Universidad de Concepción.
- Sergio Praus, Abogado consultor en políticas y legislación ambiental, Facultad de ciencias económicas jurídicas Universidad de Magallanes.
- Álvaro Ulloa, Ingeniero de proyectos, UDT.
- Eliana Villegas, Ingeniero de proyectos, UDT.
- Ximena Matus, Ingeniero de proyectos, UDT.
- Jochen Theloke, Experto Alemán, Universidad de Stuttgart.
- Jaime Hernandez, Alumno tesista Ingeniería Ambiental UDEC.

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

SIGLAS Y ABREVIATURAS

D.S.	Decreto Supremo
D.O.	Diario Oficial
mg/Nm ³	miligramos por metro cúbico bajo condiciones normales
ng/J	nanogramos por Joule
µg/m ³ N	microgramos por metro cúbico normal
ppm	partes por millón
MWt	Megawatt térmico
SO ₂	Dióxido de azufre
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
COVs	Compuestos orgánicos volátiles
NH ₃	Amoníaco
SOx	Óxidos de Azufre
NOx	Óxidos de Nitrógeno
MP	Material Particulado
VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles
MTD	Mejor Técnica Disponible
Calderas ICI	Calderas Industriales, Comerciales e Institucionales
MWt	MegaWatt térmico
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
lb/MMBtu	Libra por millón de BTU (British Thermal Unit)
Btu/hr	BTU por hora
MMBtu/hr	Millón de BTU por hora
kPa	Miles de Pascal
NTP	Norma Técnica Peruana
CO	Monóxido de Carbono
PPDA RM	Plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana
PDA	Plan de Descontaminación Atmosférica
RCA	Resolución de Calificación Ambiental
PTS	Partículas Totales Suspendidas
PCDD	Dibenzoparadioxinas policloradas
PCDF	Dibenzofuranos policlorados
CO ₂	Dióxido de Carbono
Pb	Plomo
TRS	Del inglés: Total Reduced Sulphur (Sulfuros Totales Reducidos)
CH ₄	Metano
Kgf/cm ²	kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado
kJ/h	Miles de Joule por hora
BHP	Potencia al eje en Caballos de Fuerza
psi _g	Libras por Pulgada cuadrada (manométrico)
PCI	Poder Calorífico Inferior, MJ/Kg
ESP	Precipitador Electroestático
GCD	Gas Coque Diluido
GAH	Gas de Alto Horno
SNCR	Reducción Selectiva No Catalítica

000015

INFORME FINAL

Antecedentes para Elaborar una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial

ADt/d	Toneladas de pasta seca por día
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control