

UCH-FC
Q. Ambiental
G 993
C 1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA DE EMISIONES DE
NOX Y MATERIAL PARTICULADO APLICABLES A UNA EMPRESA
MANUFACTURERA DE LADRILLOS Y LA REGULARIZACIÓN DEL USO DE UNA
MEZCLA DE BIOCOCOMBUSTIBLE SEGÚN EL D.S. 29/2013”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Química Ambiental

CAMILA MILLARAY GUZMÁN AGUILERA

Director de Seminario de Título: Ximena Guzmán.
Profesor Patrocinante: Dr. Richard Toro.

Enero 2017
Santiago – Chile





INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

CAMILA MILLARAY GUZMÁN AGUILERA

“VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA DE EMISIONES DE NOX Y MATERIAL PARTICULADO APLICABLES A UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE LADRILLOS Y LA REGULARIZACIÓN DEL USO DE UNA MEZCLA DE BIOCOCOMBUSTIBLE SEGÚN EL D.S. 29/2013”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Sra. Ximena Guzmán
Director Seminario de Título

Firma manuscrita en azul de Ximena Guzmán sobre una línea horizontal.

Dr. Richard Toro
Profesor Patrocinante

Firma manuscrita en azul de Richard Toro sobre una línea horizontal.

M Cs. Julio Hidalgo
Presidente

Firma manuscrita en azul de Julio Hidalgo sobre una línea horizontal.

Dr. Manuel Leiva
Corrector

Firma manuscrita en azul de Manuel Leiva sobre una línea horizontal.

Santiago de Chile, Enero 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre María Teresa Aguilera por su constante apoyo, entrega y comprensión, por nunca dejarme sola, siempre creer en mi y en mis capacidades. Por ser mi mejor amiga y la mejor mamá que me pudo tocar, porque es grande, trabajadora, luchadora y con una fuerza interior inmensa.

A mi padre Hernán Guzmán, por su apoyo, paciencia, por creer en mi y en lo que soy capaz de lograr, por enseñarme a superar obstáculos y alentarme a ser la mejor versión de mi misma. Por ser un gran hombre con virtudes y defectos, trabajador como ningún otro, apasionado por su profesión y el mejor de los mejores en lo que hace.

Espero que ambos se sientan orgullosos de la hija que tienen, de mis logros y de la persona en la que me he convertido. Ambos son el pilar fundamental de mi vida y nada de esto hubiese sido posible sin su confianza y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primera instancia a la empresa Cerámica Santiago S.A. por abrirme las puertas de sus instalaciones, entregarme la confianza y el apoyo para que yo pudiese realizar este trabajo. Especialmente a la Jefa del Departamento de Gestión y a su vez directora de mi seminario de título Ximena Guzmán, por la confianza que depositó en mi y en mis capacidades, por su apoyo y preocupación en cada proceso de este trabajo, por guiar mis ideas y ser aporte no solo en el desarrollo de este seminario, sino también en mi formación como profesional.

Debo agradecer de manera especial al Profesor Richard Toro, por su buena disposición y entrega en cada momento que necesité su ayuda. Al Profesor Julio Hidalgo y al Profesor Manuel Leiva por aceptar ser parte de mi comisión, por sus grandes aportes, su disponibilidad y paciencia, que se ven reflejados en este trabajo.

A Marisol Aravena por su gran apoyo y ayuda en cada momento a lo largo de la carrera, por su paciencia para responder cualquier pregunta, por guiar cada paso que me tocó dar, por su buena voluntad y compromiso.

Quiero agradecer a mis padres, ya que gracias a ellos soy la persona en la que me he convertido hoy en día, gracias por brindarme todo su apoyo, amor y comprensión. Por las veces en las que estaba colapsada y me tuvieron paciencia o por los tramos estudiando y me dejaban dormir hasta más tarde. Gracias por los valores que me entregaron, por enseñarme a ser una mujer de bien, perseverante, luchadora, disciplinada y responsable. Muchas gracias por todo, ya que nada de esto hubiese sido posible sin ustedes.

A mi gran familia, abuelas, abuelos, tías, tíos, primas y primos, gracias a todos por creer siempre en mi, por darme una palabra de aliento cuando lo necesité, por felicitarme y alentarme a ser siempre la mejor. Por estar a mi lado en cada momento de mi vida, este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes.

A mis amigas, a cada una de ellas, que ocupan un papel fundamental en mi vida y en mi corazón, de una forma u otra siempre han estado presentes en este largo proceso. Gracias por su amistad, cariño, apoyo, comprensión y compañía. Somos hermanas del alma y esta linda amistad que formamos será para toda la vida.

A mi compañero, amigo y pololo Mauro Linossi, gracias por su paciencia y apoyo, por creer en mi en cada momento. Por acompañarme a la distancia en cada paso de este trabajo, incluso en los momentos más difíciles, gracias por animarme cuando ni yo misma tenía ganas para seguir, por alentarme a cumplir mis metas, objetivos y sueños. Muchísimas gracias.

Y por último quiero agradecer a todos los que formaron parte de mi vida durante estos años de vida universitaria, a los Profesores, Compañeros, al Coro de la Facultad de Ciencias y al equipo de Basquetbol Femenino que me acogieron por muchos años. Cada uno a su manera hizo que mi paso por esta querida Facultad se transformara en gratos momentos que siempre guardaré en mi corazón.

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes Generales	1
1.1.1 Características geográficas de la ciudad de Santiago	1
1.1.2 Características meteorológicas de la ciudad de Santiago.....	1
1.1.3 Contaminación Atmosférica en Santiago de Chile	2
1.1.4 Inventario de Emisiones	3
1.1.5 Producción de Ladrillos en Chile	6
1.2 Antecedentes Específicos	7
1.2.1 Características generales de Cerámica Santiago	7
1.2.1.1 Proceso Productivo para la elaboración de ladrillos	8
1.2.1.2 Fuentes Emisoras.....	10
1.2.1.3 Combustibles Utilizados.....	10
1.2.2 Métodos de Muestreo	11
1.2.2.1 CH-5: Determinación de la emisión de Material Particulado proveniente de fuentes fijas	11
1.2.2.2 CH-7: Determinación de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno provenientes de fuentes fijas	12
1.2.2.3 CH-2: Determinación de los gases de chimenea, velocidad y volumen del caudal (Tipo S tubo de Pitot).....	13
1.2.3 Sistemas de Control de Emisiones utilizado en Cerámica Santiago ...	14
1.2.3.1 Tecnologías de abatimiento de gases y partículas.....	15

1.3 Antecedentes Legislativos	19
1.3.1 Decreto Supremo Número 29 del año 2013 Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga decreto N°45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.	19
1.3.2 Decreto Supremo Número 66 del año 2010 Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA).....	21
1.3.3 Decreto Supremo Número 4 del año 1992 Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.....	23
1.4 Planteamiento del Seminario y Área de Estudio	24
1.5 Objetivos del Seminario	25
1.5.1 Objetivo General.....	25
1.5.2 Objetivos Específicos	25
II METODOLOGÍA	26
2.1 Verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases NOx Y Material Particulado.....	26
2.1.1 Análisis Bibliográfico.....	26
2.1.2 Muestreo en terreno	26
2.1.3 Análisis de datos obtenidos	27
2.2 Regularización del uso de mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el D.S. 29/2013.....	27
2.2.1 Análisis de emisiones producidas por biocombustible	27
2.2.2 Recopilación de antecedentes energéticos.....	27
2.2.3 Análisis del D.S 29/2013 “Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga decreto N°45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia”.	27
2.3 Análisis de datos y propuesta de medidas para reducir las emisiones....	28
2.3.1 Análisis Bibliográfico.....	28
2.3.2 Caracterización de Gases y Partículas	28
2.3.3 Propuestas de cambios en el Sistema de Abatimiento	28

III	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
	3.1 Verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases NOx y Material Particulado.....	29
	3.2 Regularización del uso de mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el D.S. 29/2013.....	33
	3.3 Análisis de datos y propuesta de medidas para reducir las emisiones....	37
IV	CONCLUSIONES	40
V	BIBLIOGRAFÍA.....	41



INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de los resultados de las emisiones, clasificadas por sector	5
Tabla 2	Emisiones detalladas de las fuentes industriales	5
Tabla 3	Valores límites de emisión para la incineración	20
Tabla 4	Normativas aplicables a la empresa Cerámica Santiago	29
Tabla 5	Muestreos realizados en Horno túnel para Material Particulado y gases NOx.....	31
Tabla 6	Muestreos realizados en Grupos Electrógenos para Material Particulado .	32
Tabla 7	Muestreo realizado en horno túnel para Material Particulado y gases NOx que da cumplimiento al D.S. 66/2010 y al D.S. 4/1992	34
Tabla 8	Antecedentes requeridos por la Seremi de Salud RM.	35

INDICE DE FIGURAS

Figura1	Clasificación de Fuentes	4
Figura2	Proceso de producción del ladrillo	9
Figura3	Tipos de Tubos Pitot	14
Figura4	Principio de funcionamiento de cámaras de sedimentación.....	15
Figura5	Principio de funcionamiento del ciclón de entrada tangencial y descarga axial.....	16
Figura6	Componentes de un Precipitador electrostático.....	17
Figura7	Funcionamiento de un filtro de manga.....	18
Figura8	Localización de la Empresa Cerámica Santiago	24
Figura9	Muestras obtenidas del método CH-5 para material particulado en horno túnel	26

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en la empresa manufacturera de ladrillos Cerámica Santiago S.A. Los objetivos fueron la verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases y material particulado; regularizar el uso de una mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el Decreto Supremo número 29 del año 2013 (D.S. 29/2013) y además realizar una evaluación sobre la factibilidad de posibles alternativas de sistemas de abatimiento de emisiones.

Para ello, se realizó un análisis bibliográfico acerca de las normas aplicables a este tipo de empresas y al mismo tiempo, durante los meses de Febrero y Marzo, se efectuaron muestreos de material particulado y gases en las fuentes existentes en la fábrica para la verificación de dichas normas. Conjuntamente se trabajó en la regularización de un biocombustible compuesto por una mezcla de aserrín, afrecho de rosa mosqueta y pepa de uva. para lo cual se recopiló datos empíricos sobre el biocombustible y su funcionamiento en la fuente (Horno túnel). Parte de la regularización contemplaba el cumplimiento del D.S. 29/2013 que trata sobre las emisiones de incineración, co-incineración y co-procesamiento, este decreto fue estudiado detalladamente para su correcta implementación. Por último se efectuó un estudio sobre los sistemas de abatimiento de gases y/o partículas y como podían complementar un sistema ya existente o definitivamente realizar un recambio tecnológico.

Los resultados obtenidos verifican el cumplimiento de todas las normas aplicables a la empresa Cerámica Santiago S.A tanto como para gases como para partículas. Estas normas son el Decreto Supremo número 66 del año 2010 que indica que la emisión máxima para material particulado debe ser de $2,5 \text{ ton/año}$ Y para gases la emisión máxima corresponde a 8 ton/año , por su parte el Decreto Supremo número 4 del año 1992, que indican que la concentración máxima para material particulado debe ser 112 mg/m^3 .

La regularización del biocombustible no fue completada en su totalidad faltando el cumplimiento del D.S 29/2013 debido a que la mezcla utilizada compuesta por aserrín, afrecho de pepa de uva y rosa mosqueta es considerada como un combustible tradicional ya que corresponde a biomasa no tratada, por lo que no debería estar incluida en esta norma que regula las emisiones de las industrias que utilizan combustibles no tradicionales que puedan emitir contaminantes peligrosos para la salud de las personas.

Por último se determinó que es necesario realizar mejoras en el sistema de abatimiento existente debido a que costear los altos valores del gas natural conlleva a que la empresa tenga como alternativa utilizar 100% biomasa. Simultáneamente se debe tener en cuenta que las normas serán más estrictas con el nuevo plan “Santiago respira”, Una forma adecuada de controlar y disminuir las emisiones de gases es inyectando formas reducidas del nitrógeno (como amoniaco o urea) que al reaccionar con los Óxidos de Nitrógeno forman Nitrógeno molecular y agua.

Por otra parte se recomienda instalar un sistema de abatimiento de partículas como un filtro de manga o un precipitador electrostático, ambos poseen una alta eficiencia y serian un aporte positivo para disminuir las emisiones de partículas.

ABSTRACT

This work was developed in the brick manufacturing company Ceramics Santiago S.A. The aim were to verify compliance with the current standard for NOx gases and particulate matter; regulate the use of a mixture of biofuel appropriate for the oven that meets the Supreme Decree No. 29 of 2013 and finally make an assessment on the feasibility of possible alternative emission abatement systems.

Made a researched about the rules applicable to these businesses, at the same time was conducted during the months of February and March sampling of particulate matter and gases were made in existing sources at the factory for verification of these standards. Was worked in regularizing a biofuel blend composed of sawdust, bran rosehip and grape seed, for this was necessary to collect empirical data on biofuel and its operation at the source (oven tunnel), part of the regularization contemplated the fulfillment of DS 29/2013 which deals with emissions from incineration, incineration and co-processing, this decree was studied in detail for proper implementation. Finally a study was made on gas abatement systems and particle abatement system and how they could complement an existing system or definitely make a technological replacement.

The results obtained check compliance with all regulatory requirements applicable to the company Ceramics Santiago S.A. well as for gases and particles. These norms are the Supreme Decree No. 66 of 2010 indicates that the maximum emission for particulate matter should be 2.5 *ton/año* And NOx maximum emission corresponds to 8 *ton/año*, mean while Supreme Decree number 4 of 1992, indicating that the maximum emission for particulate matter must be 112 *mg/m³*

The regularization of biofuel was not completed fully lacking compliance with the DS 29/2013 because the mixture used comprised of sawdust, bran grape seed and rosehip is considered a traditional fuel because it corresponds to untreated biomass, so it should not be included in this norm which regulates emissions from industries They are using non-traditional fuels that can emit dangerous pollutants for the health of people.

Finally it was determined that is needed to make improvements to the existing system of abatement because they afford the high values of natural gas it entails that the company has an alternative use 100% biomass simultaneously should be aware that standards are more stringent with the new plan Santiago breathes, thus form suitable to control and reduce NOx gases is injecting oxidized forms of nitrogen as ammonia or urea to react with nitrogen oxides form molecular nitrogen and water on the other hand it is necessary to install a particulate abatement system as a baghouse or electrostatic precipitator, both have high efficiency and would be a positive contribution to reduce particulate emissions.

I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Características geográficas de la Región Metropolitana

La capital de Chile, Santiago, se ubica en una cuenca emplazada en el borde occidental de Sudamérica subtropical, al oeste de la Cordillera de los Andes y a unos 100 km de la costa y separada de esta por una cadena de cerros. La altura promedio en Los Andes para estas latitudes es de 4.500 msnm aproximadamente, mientras los cerros de la Cordillera de la Costa superan los 1.200 msnm (Morales & otros, 2006). La cordillera de la costa posee una interrupción de unos 50 kilómetros de ancho por donde drena el Río Maipo. La cuenca es parcialmente confinada hacia el norte y sur por cadenas montañosas transversales (Morales & otros, 2006). El sector metropolitano actual se ubica sobre una zona de suave pendiente con elevaciones crecientes en el eje oeste-este. Los cerros que se encuentran rodeando la cuenca de Santiago provocan una ventilación deficiente con una poca o nula renovación del aire. Es así como en las épocas de mayor estabilidad atmosférica, los contaminantes quedan retenidos dentro de la cuenca

1.1.2 Características meteorológicas de la Región Metropolitana

Durante casi todo el año, Santiago se ve influenciado por el anticiclón subtropical del Pacífico suroriental, lo que da como resultado una inversión térmica de subsidencia provocada por el enfriamiento de la superficie terrestre, originando una capa de mezcla reducida y una atmósfera muy estable. Con un clima semiárido y precipitaciones anuales con valores cerca de los 300 mm concentrados en la estación invernal (Morales & otros, 2006).

1.1.3 Contaminación Atmosférica en Santiago de Chile

El rápido crecimiento poblacional de la ciudad de Santiago acompañado de la urbanización y la industrialización que se ha desarrollado en la Región Metropolitana trae consecuencias importantes para la atmósfera de la ciudad y sus alrededores. La biomasa y el carbón utilizados para calentarse contaminan el aire, el parque automotriz que crece año a año en proporción al aumento de la población que incrementa contaminantes atmosféricos derivados de la combustión del petróleo o gasolina.

Las grandes ciudades frecuentemente contienen altas concentraciones de material particulado (PM); Ozono (O_3); Dióxido de Azufre (SO_2); Óxido Nítrico (NO) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2), la suma de lo que se conoce como óxidos nitrosos (NO_x); monóxido de carbono (CO); compuestos orgánicos volátiles (VOCs), e hidrocarburos (HC). El material particulado se reporta frecuentemente como una concentración masiva del total de partículas suspendidas (TPS), PM_{10} y $PM_{2.5}$. Los principales componentes químicos de material particulado son el Sulfato (SO_4^{2-}), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+), Carbón Orgánico (OC), Carbón Elemental, y Suelo (una suma de elementos minerales como el Aluminio [Al], Silicio [Si], Calcio [Ca], Titanio [Ti], y Hierro [Fe]). Los gases invernadero de larga vida como el Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4), y Clorofluorocarbonos (CFC) son importantes en escalas globales (Molina, 2004).

Las condiciones geográficas y meteorológicas descritas anteriormente, sumado al aislamiento geográfico de la ciudad y otros factores demográficos en los que se incluye emisiones de contaminantes por parte de fuentes antrópicas restringen la ventilación y dispersión de los contaminantes dentro del valle, haciendo que Santiago sea particularmente susceptible a una calidad pobre de aire, especialmente durante el invierno, tanto como para clasificar a Santiago como una de las ciudades más contaminadas del continente en cuanto a contaminación del aire.

Durante los meses de invierno, desde mayo a septiembre, la contaminación del aire es caracterizada por las partículas en suspensión y gases (SO_x , NO_x , COV, CO, entre otros) y durante los meses de verano, el aumento en la temperatura de la superficie permite romper la inversión térmica en horas de la tarde, mejorando de

forma considerable la ventilación de la ciudad. No obstante, en estos meses, se dan altos niveles de emisiones de NOx que complementado con la alta radiación solar, desencadena el problema de la contaminación por compuestos de origen secundario como el Ozono y el PAN, dando lugar a la contaminación fotoquímica (Lissi & Sanhueza, 1996)

Santiago se encuentra entre las ciudades más contaminadas del mundo y frecuentemente tiene alertas de calidad del aire, pre-emergencias y emergencias de contaminación, pero la preocupación sobre el ozono troposférico y material particulado se ha incrementado recientemente debido al transporte a grandes distancias de estos contaminantes tiene influencia sobre la calidad del aire y sus efectos en el clima pueden ser sentidos en regiones lejanas a la fuente (PPDA, 2010).

1.1.4 Inventario de Emisiones

Un inventario de emisiones es un recuento de la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera clasificados según su procedencia o fuente, es una herramienta fundamental ya que aporta información fidedigna en un estudio de calidad del aire y contaminación atmosférica. En los inventarios se realiza una extensa captura de información producida tanto por las actividades antropogénicas como por las biogénicas, de la ciudad o región en cuestión.

En la Región Metropolitana se han desarrollado varios inventarios de emisiones que datan desde el año 1989 hasta el año 2014 donde se realizó el Informe “Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana” elaborado por la Universidad de Santiago de Chile junto con el Ministerio de Medio Ambiente.

El Inventario de Emisiones actual, separa las emisiones según su procedencia como lo vemos en la Figura 1. Las Fuentes Estacionarias se subdividen en Industriales, Residenciales, Evaporativas y Agrícolas; en cambio las Fuentes Móviles se separan en Ruta y Fuera de Ruta (USACH,2014).

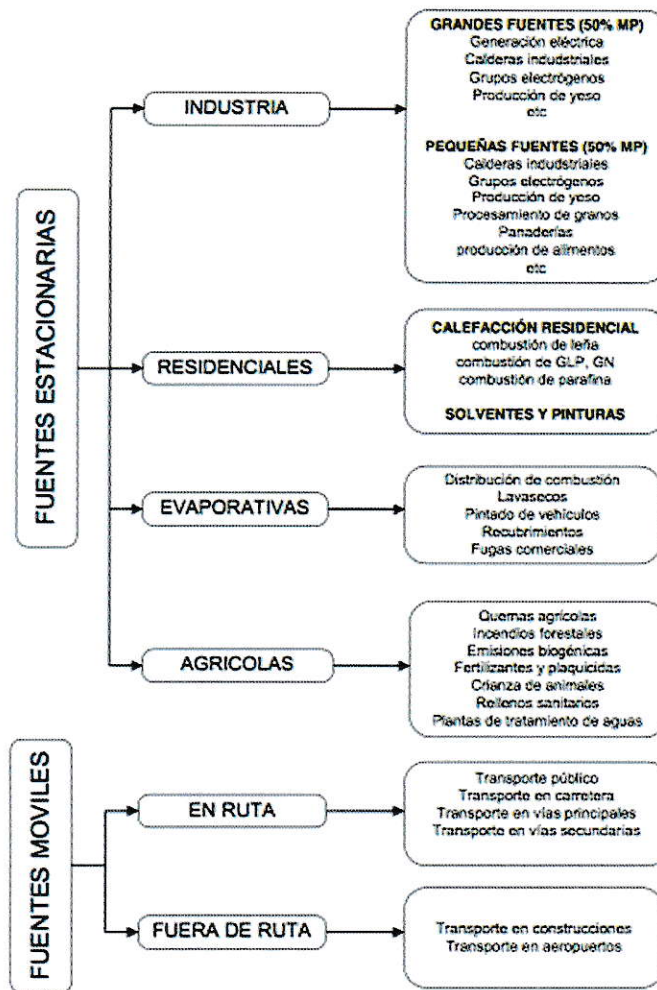


Figura 1 Clasificación de Fuentes (Fuente: Inventario de emisiones, USACH 2014)

Un resumen de todas las emisiones consideradas en el inventario de emisiones actual (USACH, 2014) y clasificadas por sector se presentan a continuación:

Tabla 1 Resumen de los resultados de las emisiones, clasificadas por sector (Fuente: Inventario de emisiones, USACH 2014)

Sector	Emisiones de Contaminantes [Ton/Año]									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NOx	SOx	HCt	COV	CO	CH ₄	NH ₃	CO ₂
Industria	742	662	4.921	1.990		23	1.139			1.519.714
Residenciales	2.186	2.007	1.785	294		53.550	20.292	1.626	193	281.988
Evaporativas						28.424				
Agrícolas	205	183	80	15	0	15.031	2.214	88.071	33.395	242.571
Transporte	2.877	2.398	39.356	239	14.146		125.727	0	2.114	10.401.297
Construcción	568	534	5.244	6	1.002		5.423			681.638
Total	6.578	5.854	51.386	2.544	15.148	97.028	154.795	89.697	35.702	13.127.208

En la Tabla 1 anteriormente expuesta se observa que el sector industrial es un gran emisor de contaminantes NOx y Material Particulado; pero no es la actividad que mas emite estos compuestos, a pesar de contribuir con el 9,5% de los Óxidos de Nitrógeno y con un 11,2% del Material Particulado Total.

En la Tabla 2 se detalla el sector industrial que se ha dividido en grandes fuentes y pequeñas fuentes. Las grandes fuentes corresponden al 50% de la contribución de emisiones industriales de Material Particulado en la Región Metropolitana. Además, se sabe que de las emisiones industriales totales de MP, entre el 50 y 90% corresponde a MP_{2.5}. Por otro lado se observa que las pequeñas fuentes contribuyen con el 48% del total de Óxidos de Nitrógeno emitido.

Tabla 2 Emisiones detalladas de las fuentes industriales (Fuente: Inventario de emisiones, USACH 2014)

Sector Industrial	Emisiones de Contaminantes						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NOx	SOx	COV	CO	CO ₂
Grandes fuentes	333	298	2.188	1.966	-	893	-
Pequeñas fuentes	409	319	1.584	24	13	246	829.261
Generación eléctrica	-	45	1.149	-	10,3		690.453
Total	742	662	4.921	1.990	23	1.139	1.519.714

1.1.5 Producción de Ladrillos en Chile

La demanda de los materiales cerámicos específicamente de los distintos tipos de ladrillos, viene en gran parte del rubro de la construcción, estos se utilizan para la fabricación de casas, oficinas y todo tipo de instalaciones comerciales e industriales. Es por esto que se entiende que la producción del material cerámico está fuertemente influenciado por la economía de un país, es decir varía según las fluctuaciones económicas que a su vez determina el sector de la construcción y así finalmente la fabricación de estos productos

Es importante señalar que la información sobre el mercado del material cerámico en nuestro país es escasa, poco estructurada y no sistemática. En Chile no existen datos oficiales sobre la producción de material cerámico, la Asociación de Fabricantes de Vidrios, Cerámicas y Refractarios, indican que la asociación está formada por tres empresas, todas ellas del sector del vidrio: Cristalerías de Chile S.A., Cristalerías Toro S.A. y Saint-Gobain Envases S.A. (Sanchis, 2015)

Respecto a las empresas fabricantes de cerámicas y refractarios, desde la asociación se informa que en la actualidad las empresas fabricantes de este tipo de productos casi han desaparecido por lo que no tienen empresas registradas en su asociación ni disponen de información estadística. De la información extraída del Directorio Nacional de Empresas y Ejecutivos, algunas de las empresas chilenas que fabrican material cerámico (baldosas, ladrillos, tejas y refractarios) son las que figuran a continuación. Algunas de ellas como Industrias Princesa, Cerámica Santiago y Cerámica Bio-Bio, Fábrica de Ladrillos y Tejas, entre otros (Sanchis, 2015).

Chile es un país con una población que supera los 17 millones de habitantes, con un ingreso medio per cápita de 15.732 dólares lo que, junto con la disminución del riesgo país en los últimos años, ha facilitado que el consumidor pueda acceder fácilmente al crédito, viéndose reflejada esta mejora tanto en consumidores como en empresarios (Sanchis, 2015).

A lo largo de 2014 la superficie autorizada con permisos de edificación alcanzó los 12,77 millones de m², a pesar de la ralentización económica del país.

Concretamente se contemplaron aumentaron un 21,5% en 2014 y se concentraron en las comunas más céntricas de Santiago.

Si bien las previsiones dieron por sentada una ralentización del crecimiento económico de Chile y, por tanto, una ralentización del volumen de edificación, esta tendencia se vio mejorada por dos motivos, tal y como apunta el informe de la Cámara Chilena de la Construcción. Por un lado la tardanza que tiene lugar entre la aceptación del permiso de edificación y el inicio de las obras y, por otro lado, la reforma tributaria que aceleró la ejecución de algunos proyectos. El mayor número de permisos para la construcción se concedieron en la Región Metropolitana (63.828), Biobío (16.372) y Valparaíso (13.829), siendo estas además las regiones con mayor concentración de población junto con la región del Maule (Sanchis, 2015).

Puesto que la Región Metropolitana, concretamente la ciudad de Santiago, concentra la mayor parte de la población y el mayor número de proyectos en cuanto a construcción de viviendas, es relevante conocer cómo se distribuye la construcción, tanto por superficie de edificación como por localización de los proyectos.

Los precios de venta al público varían dependiendo de la calidad, la dimensión, el diseño y el origen del producto, además de otros puntos que también influyen como el cliente final al que va dirigido. Es decir, el precio de un mismo producto puede variar significativamente entre diferentes puntos de venta.

1.2 Antecedentes Específicos

1.2.1 Características generales de Cerámica Santiago

Esta fábrica manufacturera de ladrillos ubicada en la Región Metropolitana en la comunidad de Batuco, comenzó a operar a fines del año 1981, con una capacidad inicial de 400.000 ladrillos/mes, luego de seguidas ampliaciones y mejoras esta planta produce alrededor de 28 ton/mes que son aproximadamente 11.000.000 ladrillos/mes. (Cerámica Santiago, 2016)

En la actualidad, Cerámica Santiago es la empresa líder en la producción y comercialización de productos cerámicos prensados al vacío, con una participación de mercado de un 60%.

1.2.1.1 Proceso Productivo para la elaboración de ladrillos.

El proceso productivo consta de 9 Etapas que van desde la extracción de la materia prima, hasta el almacenaje final de los ladrillos. Las etapas son:

- Extracción de la Arcilla: La arcilla es la materia prima utilizada para la producción de ladrillos, es útil debido a su plasticidad y capacidad para ser moldeada; ella está formada sustancialmente de sílice, alúmina y agua, y cantidades variables de hierro y otros materiales alcalinos. Las partículas de materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso de agua.
- Maduración: Antes de incorporar la arcilla en el proceso de producción, se tritura, homogeniza y se deja reposar en pilas de acopio con el fin de obtener una adecuada consistencia y uniformidad en las características físicas y químicas, además este proceso favorece la oxidación de la materia orgánica que puede estar presente en la materia prima.
- Pre-Elaboración: Serie de operaciones de tiene la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Se reduce el tamaño de los terrones, se separan la arcilla de las piedras, se trituran los terrones más grandes y duros por una serie de cilindros dentados, por último se realiza un aplastamiento y planchado de la arcilla para reducir aún más su diámetro.
- Depósito de materia prima procesada: El objetivo de esta etapa es la homogenización final de la materia prima tanto de apariencia como de aspecto físico químico.
- Elaboración: En este proceso la arcilla se lleva a un laminador refinador, posteriormente a un mezclador donde se le agrega agua hasta obtener la humedad precisa.
- Moldeado: Se hace pasar la mezcla a través de una boquilla, el moldeado se hace en caliente, utilizando vapor saturado a 130°C y al vacío, de esa forma se obtiene un humedad uniforme y una masa compacta.

- Secado: Esta es una de las fases más delicadas del proceso, en donde se elimina el agua agregada en la etapa anterior, se realiza en secaderos donde se entrega aire caliente superficialmente al material con una humedad variable. El objetivo es evitar la producción de fisuras localizadas.
- Cocción: Se realiza en hornos de túnel de aproximadamente 120 metros de longitud, donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre los 900°C a los 1000°C.
- Almacenaje: Se almacena en forma de paquetes en pallets, que permiten una mejor movilización.

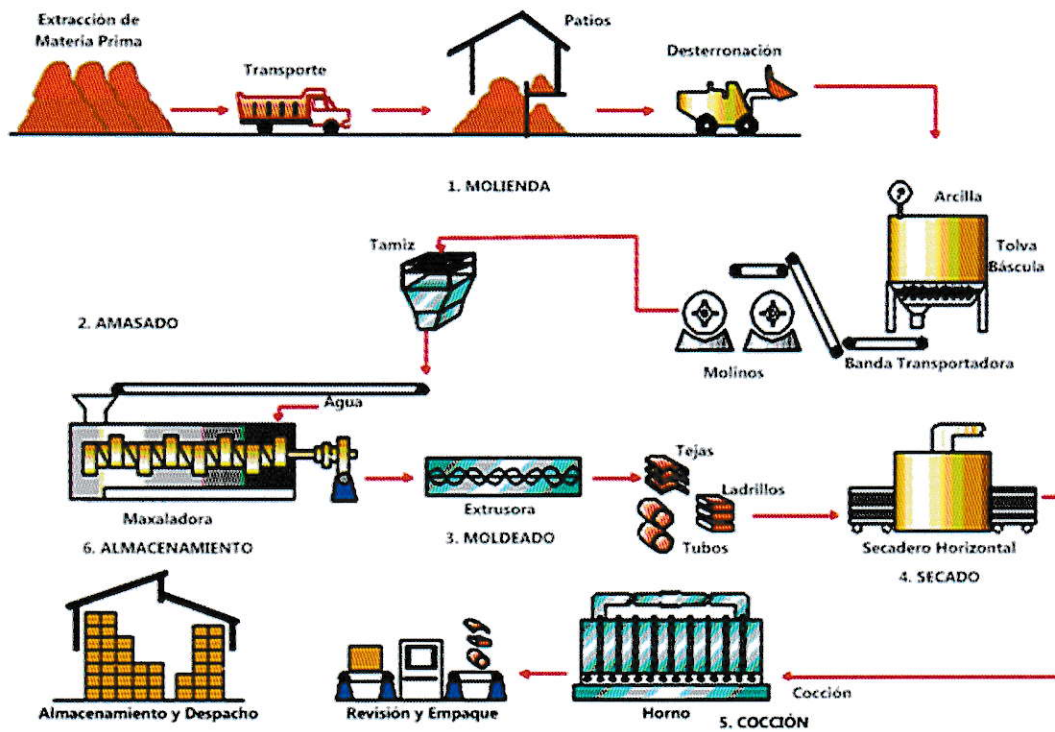


Figura 2 Proceso de producción del ladrillo (Fuente: Ladrillos Lark)

1.2.1.2 Fuentes Emisoras.

Las fuentes emisoras existentes en la fábrica manufacturera de ladrillos consideradas dentro de este estudio son 3 fuentes estacionarias puntuales descritas a continuación:

- Horno de Cocción de Ladrillos. Marca Lateforni modelo Túnel. Capacidad de producción máxima 22.000 kg/h.
- Grupo Electrónico 1. Marca Leroy Somers modelo A 501-M7. Potencia máxima utilizada 750 kW.
- Grupo Electrónico 2. Marca F.G. Wilson modelo DDC800. Potencia máxima utilizada 500 kW.

Los Grupos Electrónicos son grupos de respaldo de generación de energía eléctrica. Cerámica Santiago posee un contrato con Chilectra que permite usar los generadores entre los meses de Abril a Septiembre durante 2 horas al día en horario punta. Estos grupos se utilizan además en caso de emergencia por corte de electricidad. Para el caso del horno, este se utiliza en la etapa de la cocción de los ladrillos.

En este estudio no se consideran otras fuentes generadoras de gases y/o partículas como fuentes móviles o emisiones fugitivas.

1.2.1.3 Combustibles Utilizados

Los grupos electrónicos 1 y 2 utilizan como combustible petróleo diesel. En el caso del horno túnel, hasta el año 2008 se utilizaba gas natural proveniente desde Argentina. A partir de la crisis del gas y del corte de suministro de este combustible, la empresa comenzó a realizar investigaciones con el fin de buscar alternativas de combustibles que permitan sostener el alza de los costos de producción y mantener la competitividad en la industria de ladrillos del país, cumpliendo siempre con la normativa legal vigente. Tales investigaciones concluyeron que la mejor opción posible era mezclar gas natural con biomasa, pero su uso está en vías de ser regularizado.

La biomasa utilizada es una mezcla de afrecho de pepa de uva, rosa mosqueta y aserrín de madera no tratada. Se entiende por biomasa no tratada, aquella que no ha sido sometida a tratamientos con productos químicos que contengan o pueden generar al menos uno de los elementos o compuestos químicos regulados en el D.S. 29/2013.

1.2.2 Métodos de Muestreo

Las mediciones de NO_x deberán ser efectuadas por cualquiera de los laboratorios de medición de emisiones atmosféricas autorizados por la Seremi de Salud RM, utilizando el método CH-7E para determinar la concentración y los métodos CH-2 o CH-2A, según corresponda, para el caudal de gases de la fuente

Las fuentes estacionarias deberán acreditar sus emisiones de MP mediante el método CH-5. Tratándose de una fuente estacionaria puntual, la medición deberá realizarse cada doce meses. En el caso de una fuente estacionaria grupal, la medición deberá realizarse cada tres años.

1.2.2.1 CH-5: Determinación de la emisión de Material Particulado proveniente de fuentes fijas

El método de Prueba 5 de la EPA, que mide la Material Particulado total proveniente de fuentes estacionarias, es el procedimiento de prueba predominante usado para medir las emisiones de masa de Material Particulado.

El material particulado es succionado isocinéticamente de la fuente y colectado sobre un filtro de fibra de vidrio que se mantiene a una temperatura de 120 ± 14 °C. El material particulado, que incluye cualquier material que se condensa a la temperatura de filtración, es determinada gravimétricamente después de la remoción del agua. El material particulado colectado podría obtenerse al pesar: el filtro, la sonda, los burbujeadores, y el solvente de extracción para permitir el ajuste de la determinación del contaminante.

La selección del diámetro de la boquilla es una decisión muy importante en el muestreo isocinético, ya que el área de la boquilla afecta fuertemente la velocidad de muestreo. Generalmente, los equipos de muestreo para emisiones incluyen un set de varias boquillas intercambiables con diámetros de 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14 y 15 mm.

Para seleccionar el diámetro ideal de la boquilla se requiere efectuar un recorrido preliminar, este consiste en medir los siguientes parámetros:

- Presión de velocidad en cada punto.
- Temperatura del gas en la chimenea en cada punto.
- Presión estática.
- Presión barométrica.
- Asumir o determinar el porcentaje de humedad.

Con los datos del recorrido preliminar, se determina el diámetro ideal de la boquilla para el muestreo:

$$D_n = \sqrt{\frac{607,1 Q_m P_m}{T_m C_p (1 - B_{ws})} \sqrt{\frac{T_s M_s}{P_s \Delta P}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde D_n representa al Diámetro de la boquilla [mm]; Q_m es el Caudal a través del medidor de gas seco, normalmente $0.0212 [m^3/min]$; P_m es la Presión absoluta en el medidor de gas seco [mmHg]; T_m constituye la Temperatura promedio en el medidor de gas seco [°K]; C_p es el Coeficiente del tubo pitot; B_{ws} representa la Fracción volumétrica de vapor de agua en la corriente gaseosa; T_s constituye la Temperatura promedio del gas en la chimenea [°K]; M_s es la Masa molar del gas en la chimenea [g/mol]; P_s es la Presión absoluta en la chimenea [mmHg] y por último ΔP que representa la Presión de velocidad promedio del gas en la chimenea [mmH₂O]. El tren de muestreo y los procedimientos de descritos en el Método 5 también son la base para muchos otros métodos de prueba de la EPA.

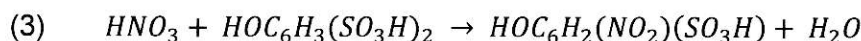
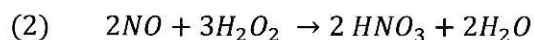
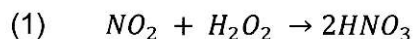
1.2.2.2 CH-7: Determinación de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno provenientes de fuentes fijas

Este método se aplica a la medición de óxidos de nitrógeno emitidas de fuentes fijas. Los compuestos como NO, NO₂, N₂O₄, HNO₃ y HNO₂ se determinan conjuntamente como NO_x. La determinación se efectúa absorbiendo éstos en una disolución compuesta comúnmente de H₂SO₄ y H₂O₂.

La toma de muestra se realiza mediante una sonda de vidrio unida a un matraz esférico de unos 2 litros en el que previamente se ha hecho el vacío hasta unos 75 mmHg. Y el cual contiene 25 ml de solución absorbente peróxido de hidrógeno. Luego

de realizar el muestreo la solución se deja en reposo entre 16 a 24 horas para completar el proceso, por el que los óxidos de nitrógeno se transforman en ácido nítrico. La solución resultante se neutraliza y evapora a sequedad tratándose luego con ácido 1-fenol-2,4-disulfónico e hidróxido de amonio.

Las reacciones químicas producidas en este método son:



Los nitratos forman con el ácido fenildisulfónico derivados nitrados amarillos muy sensibles al medio alcalino que se valora colorimétricamente.

1.2.2.3 CH-2: Determinación de los gases de chimenea, velocidad y volumen del caudal (Tipo S tubo de Pitot).

Este método es aplicable para la determinación de la velocidad media y la velocidad de flujo volumétrico de un flujo de gas. La velocidad promedio del gas en una fuente se determina a partir de la densidad del gas y de la medición de la carga de velocidad media con un tubo de pitot tipo S.

El tubo de pitot es un tubo de metal (por ejemplo acero inoxidable). Se recomienda que el diámetro de la tubería externa esté entre 0,48 y 0,95 cm (3/16 y 3/8 pulgadas). El tubo pitot estándar puede usarse en lugar de uno tipo "S", sin embargo, como los orificios de presión estática y absoluta del tubo pitot estándar son susceptibles a obstruirse por las partículas presentes en la corriente gaseosa; siempre que se utilice un tubo pitot estándar para realizar una travesía, se debe inspeccionar el tubo pitot para asegurarse que los orificios no se han tapado durante la medición.

La medición se puede lograr comparando la medición de la presión de velocidad registrada en un punto, comparada con una segunda medición registrada en el mismo punto en contracorriente por el tubo Pitot, se denominan presión absoluta y presión estática.

En la Figura 3 se observan ambos tipos de tubos pitot, el primero es el tubo pitot tipo S utiliza generalmente para las mediciones de campo en chimeneas con diámetro mayor de 0.3 m, mientras el segundo se utiliza para la calibración de los tubo pitot en "S" o para las mediciones de campo en chimeneas con diámetro menor de 0.3 m.

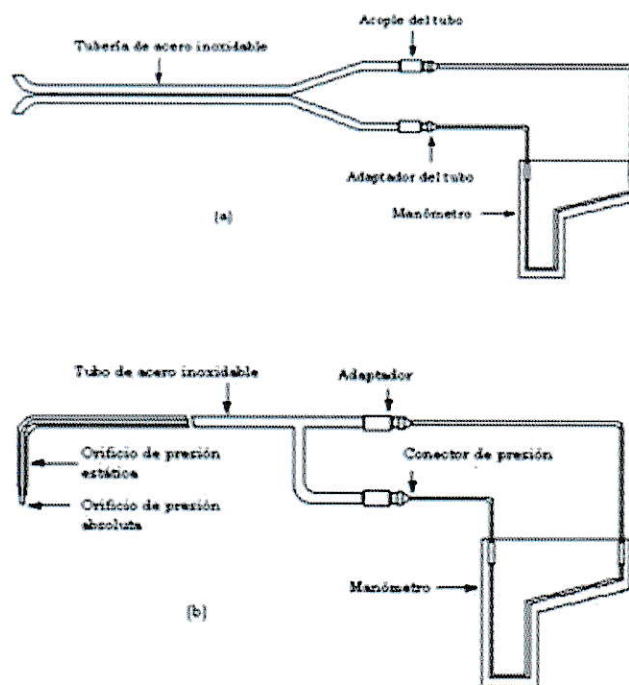


Figura 3 Tipos de Tubos Pitot (a) Pitot tipo S (b) Pitot tipo estándar (Fuente: Method 2, EPA)

1.2.3 Sistemas de Control de Emisiones utilizado en Cerámica Santiago

El Sistema de control empleado en la empresa manufacturera de ladrillos, corresponde a un equipo de tipo scrubber. Los sistemas scrubber o lavadores de gases consisten en un dispositivo que depura una corriente de gas, eliminando partículas o gases de combustión. Los lavadores funcionan disolviendo o absorbiendo el contaminante en el líquido de lavado, el líquido de lavado usado dependerá de las propiedades del contaminante. El gas de escape entra en el lavador donde hace contacto con el líquido de lavado. El fluido capta el contaminante y se recoge para su descarga o es tratada para su reutilización.

1.2.3.1 Tecnologías de abatimiento de gases y partículas

En la actualidad existe una variada oferta en cuanto a tecnologías de abatimiento, como se describen a continuación:

- Cámaras de Sedimentación: Utilizado por mucho tiempo por la industria para la eliminación de partículas sólidas o líquidas de corrientes gaseosas, las cámaras de sedimentación tienen como ventajas la construcción simple, de bajo costo inicial, de bajo mantenimiento, baja caída de presión y eliminación simple de los materiales recogidos. Fue uno de los primeros dispositivos para controlar las emisiones de partículas y es simplemente una cámara de expansión en el que se reduce la velocidad del gas, dando tiempo para que las partículas se asienten por acción de la gravedad. La cámara de sedimentación, sin embargo, se limita generalmente a la eliminación de partículas mayores de 40-60 Mm de diámetro. Las exigencias actuales de un aire más limpio y más estricto han relegado a la cámara de sedimentación como un pre-filtro de partículas para otros dispositivos de control (Heumann, 1997).

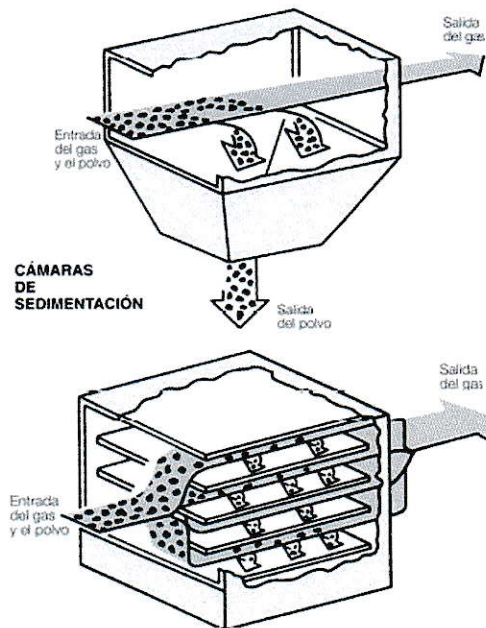


Figura 4 Principio de funcionamiento de cámaras de sedimentación (Castro, 2010)

- Separadores Centrifugos (Ciclones): Los ciclones usan la fuerza de inercia para separar las partículas de una corriente de gas rotatoria. Existen dos tipos principales de ciclones, los ciclones de gran diámetro, donde su diámetro varía aproximadamente desde 0,3 m a más de 3 m y se utilizan para la recogida de partículas de gran tamaño.

El otro tipo de ciclón se denomina Multiciclón de diámetro pequeño, son grupos de varios ciclones de pequeño diámetro, por lo general de 15 a 30 cm de diámetro, que tienen una mejor capacidad de remoción de partículas que los ciclones de gran diámetro. Las unidades multiciclón se utilizan como colectores independientes de las fuentes generadoras de partículas y también se utilizan como pre-colectores para reducir la carga de partículas en los filtros de tela y precipitadores electrostáticos (Heumann, 1997)

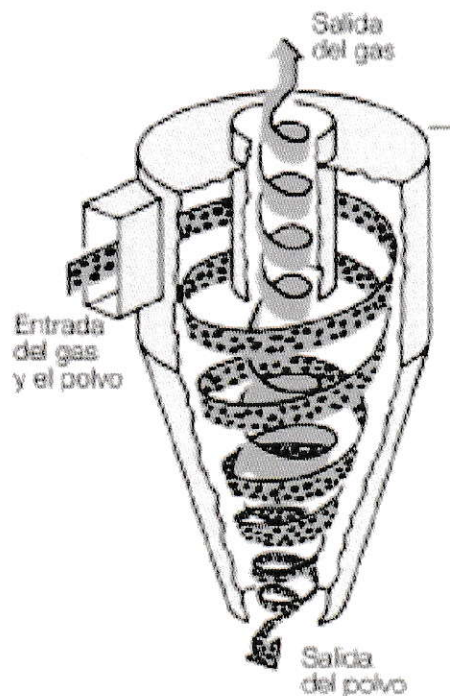


Figura 5 Principio de funcionamiento del ciclón de entrada tangencial y descarga axial (Castro, 2010)

- Precipitadores electrostáticos: Los precipitadores electrostáticos se utilizan en muchas industrias para el abatimiento de alta eficiencia de partículas. Fueron desarrollados originalmente en el año 1900 para el control de la neblina ácida. Durante de la década de 1940, los precipitadores comenzaron a ser utilizados para control de material particulado en las calderas de carbón y hornos de cemento. Desde ahí han aumentado debido a su capacidad para impartir grandes fuerzas electrostáticas para la separación de partículas sin imponer la resistencia del flujo del gas. La eficiencia del Precipitador electrostático y la fiabilidad ha mejorado continuamente desde la década de 1970 como resultado de los programas de investigación y desarrollos patrocinados por fabricantes de equipos, asociaciones de comercio y la USEPA (Heumann, 1997).

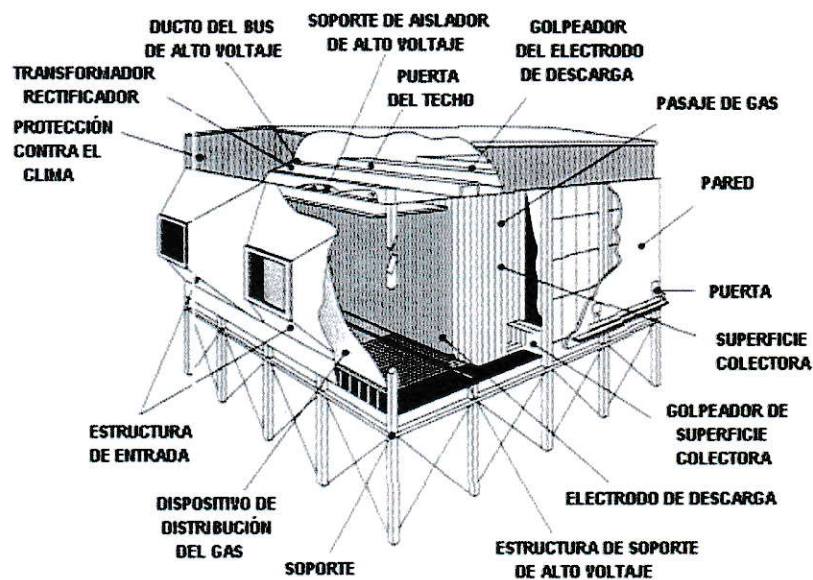


Figura 6 Componentes de un Precipitador electrostático (Castro, 2010)

- Filtros de tela: Los filtros de tela, también conocidos como casas de bolsas, son capaces de remover partículas con alta eficiencia en una amplia variedad de aplicaciones industriales. El uso de filtros de tela aumentó desde la década de 1960, debido al desarrollo de nuevos tejidos, altamente eficaces en el rango de tamaño de 0,1 a 1,000 Mm

Esta eficiencia de recolección de partículas, incluso en el rango de difícil control de 0,2 a 0,5 μm , se debe a la alta probabilidad de que una partícula sea capturada en su intento de pasar a través de una capa de polvo y de tela. La sencillez conceptual de los filtros de tela oculta la complejidad del diseño del equipo y los procedimientos operativos necesarios para alcanzar y mantener altas eficiencias de remoción de partículas (Heumann, 1997)

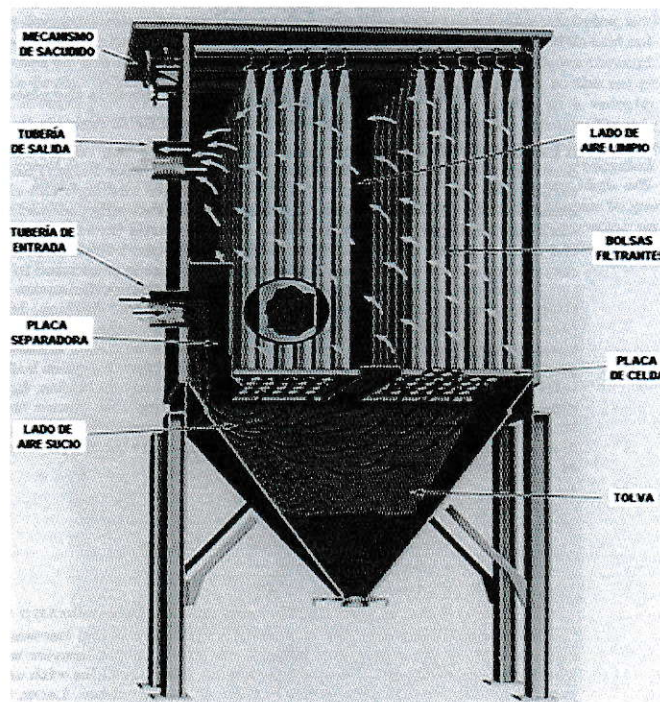


Figura 7 Funcionamiento de un filtro de manga (Castro, 2010)

1.3 Antecedentes Legislativos

1.3.1 Decreto Supremo Número 29 del año 2013 Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga decreto N°45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Esta norma de emisión está orientada para las instalaciones de incineración, coincineración que correspondan a hornos rotatorios de cal o a instalaciones forestales y para las instalaciones de coprocesamiento que correspondan a hornos de cemento que utilicen combustibles distintos a los tradicionales.

El objetivo principal es prevenir los efectos que pueden tener estas emisiones sobre la salud de la población y los recursos naturales, debido a su toxicidad.

Para comprender el decreto será necesario realizar la distinción entre biomasa tratada y combustibles tradicionales. La biomasa tratada es “aquella conformada por sustancias o materiales que han sido sometidas a tratamientos con productos químicos que contengan o puedan generar al menos uno de los elementos o compuestos químicos regulados por este decreto, con excepción del material particulado y monóxido de carbono”. En cambio los combustibles tradicionales son algunos como el Petróleo, Petróleo Diesel, Gas Licuado, Gas Natural, Kerosene, Gasolina y también se entenderá como combustible tradicional a los sólidos de uso común como: Antracita, Carbón Bituminoso, Carbón Sub-bituminoso, Lignitos, Turba, Carbón Coke, Carbón Vegetal y Biomasa no Tratada.

La frecuencia de las mediciones a las que deben someterse las instalaciones será de una vez al año, junto con esto será necesario contar con un sistema de monitoreo continuo en la chimenea de evacuación de gases.

Para las instalaciones de incineración se debe monitorear continuamente Material Particulado, Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre y Óxidos de Nitrógeno. Para los hornos de cemento y rotatorios de cal solo será necesario monitorear de forma continua el material particulado y por último las instalaciones forestales que coincineren biomasa deben monitorear el material particulado y el monóxido de carbono. Los límites máximos permitidos para las instalaciones de incineración se indican en la tabla 3

Tabla 3 Valores límites de emisión para la incineración (Fuente: D.S 29/2013)

Contaminante	Valor Límite de Emisión [mg/Nm³]
Material Particulado (MP)	30
Dióxido de Azufre (SO ₂)	50
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	300
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Monóxido de Carbono (CO)	50
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo (Pb) + Zinc (Zn) y sus compuestos, indicado como metal, suma total	1
Arsénico (As) + Cobalto (Co) + Níquel (Ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico	2
Bencenos (C ₆ H ₆)	5
Dioxinas y Furanos TEQ	0,2 ng/Nm ³

De toda forma la Superintendencia del Medio Ambiente puede solicitar fundadamente la realización de mediciones adicionales. A su vez, el titular podrá fundadamente solicitar a la Superintendencia la disminución de frecuencia y de contaminantes sometidos a medición.

1.3.2 Decreto Supremo Número 66 del año 2010 Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)

El presente Decreto regirá en la Región Metropolitana y tendrá por objeto cumplir con las normas primarias de calidad ambiental de aire vigentes. A partir del año 1998, se han llevado a cabo diversas medidas de control de la contaminación a través de la ejecución y aplicación del Decreto Supremo N° 16 de 1998 y de su posterior actualización contenida en el Decreto Supremo N° 58 de 2003, también del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. En la Región Metropolitana, el efecto sobre la calidad del aire de las medidas implementadas es el siguiente:

- Para PM_{10} , se ha logrado una reducción del 57% del total requerido para el cumplimiento de la norma anual y de un 50% para el cumplimiento de la norma diaria. Ambas cifras calculadas al año 2007
- Para el material particulado fino ($PM_{2,5}$), si bien Chile no cuenta con norma para este contaminante, la reducción de las concentraciones promedio anuales alcanza un 25% al año 2006, respecto de las concentraciones del año 1997.
- Para el Dióxido de Nitrógeno (NO_2), la Región Metropolitana ya no se encuentra en estado de latencia. Para Monóxido de Carbono (CO), la situación de saturación en sus normas de 1 hora y de 8 horas, ya no se verifica; no obstante, se mantiene el estado de latencia para la norma de 8 horas.
- Para Ozono Troposférico (O_3), se ha logrado una reducción de un 36% del total requerido para alcanzar el cumplimiento de la norma de 8 horas vigente, según datos al año 2006.
- Para el Dióxido de Azufre (SO_2), las concentraciones registradas se han mantenido en cumplimiento de norma, aunque registran una reducción significativa producto del PPDA.

A pesar de los avances obtenidos tras la aplicación de los instrumentos establecidos, se ha determinado que con las medidas actualmente vigentes no es

posible alcanzar las metas de calidad del aire comprometidas para los contaminantes que todavía presentan niveles de saturación como el MP10 y Ozono. Por lo anterior, es necesario reformular el actual PPDA con el fin de establecer nuevos instrumentos de gestión, donde deberá ser prioritario el control de las emisiones directas de Material Particulado y de los precursores de Material Particulado y Ozono.

Las mediciones a las que se refiere este Decreto Supremo deberán ser realizadas por laboratorios de medición y análisis autorizados por la Seremi de Salud RM.

Para las fuentes puntuales emisoras de NOx que posean un caudal igual superior a 2000 m³/h Deben acreditar sus emisiones mediante el muestreo con el método CH-7E. Se exceptúan de lo anterior los grupos electrógenos que operen sólo en casos de emergencia.

Para el caso del Material Particulado, las fuentes estacionarias deberán acreditar sus emisiones de Material Particulado mediante el método CH-5. Tratándose de una fuente estacionaria puntual, la medición deberá realizarse cada doce meses. Con el objeto de fiscalizar las emisiones de MP de las fuentes estacionarias, la Seremi de Salud RM podrá, sin perjuicio de otros procedimientos autorizados, controlar las emisiones de humo de dichas fuentes, mediante la Escala de Ringelmann, que es aquel método de prueba para definir la densidad aparente visual del humo. Este método será aplicable en forma independiente a los métodos de medición CH-5 y CH-A. Las fuentes estacionarias no podrán emitir humos con densidad colorimétrica o Índice de Ennegrecimiento superior al N° 2 de dicha escala, salvo en las siguientes situaciones:

- Por un período de quince minutos al día, en las operaciones de partida.
- Por tres minutos, consecutivos o no, en cualquier período de una hora.

Durante el mes de abril de cada año, a partir del año 2010, la Seremi de Salud RM deberá evaluar el cumplimiento de las metas y compensaciones de MP y NOx, considerando las emisiones anuales declaradas al año anterior y el total de emisiones compensadas.

En relación a las fuentes estacionarias denominadas "grupos electrógenos" que funcionen en la Región Metropolitana y que tengan que cumplir con exigencias de medición de emisiones, deberán contar con un horómetro digital, sellado e inviolable, sin vuelta a cero, mediante el cual se medirán sus horas de funcionamiento, las que deberán ser registradas e informadas anualmente, mediante la Declaración de Emisiones, a la Seremi de Salud RM.

Para el caso de las compensaciones se denomina "mayores emisores de MP" a aquellas fuentes estacionarias existentes categorizadas como procesos en la Región Metropolitana cuya emisión de Material Particulado sea igual o superior a 2,5 [ton/año] y se denomina "mayores emisores de NOx" a aquellas fuentes estacionarias existentes en la Región Metropolitana cuya emisión de NOx sea igual o superior a 8 ton/año. La Seremi de Salud diseño de un sistema para el registro de metas y compensaciones en fuentes estacionarias de Material Particulado y NOx, este sistema deberá ofrecer un acceso expedito a la información de las fuentes de emisión, metas, exigencias de compensación, mediciones y compensaciones realizadas por cada fuente. Este mismo estudio deberá servir para que el Ministerio de Salud proponga las respectivas normas de emisión que deben dictarse y se diseñen nuevos instrumentos de gestión ambiental para abordar los contaminantes Material Particulado, NOx y SO₂.

1.3.3 Decreto Supremo Número 4 del años 1992 Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.

Este decreto se aplica a las fuentes estacionarias puntuales y grupales que se encuentren ubicadas dentro de la Región Metropolitana, que emitan menos de una tonelada diaria de material particulado, bajo condiciones señaladas, las que se registrarán por las disposiciones específicas que se adopten en cumplimiento del plan de descontaminación antes mencionado. Las fuentes estacionarias puntuales no podrán emitir material particulado en concentraciones superiores a 112 miligramos por metro cúbico bajo condiciones estándar, mediante el muestreo isocinético definido. Las fuentes estacionarias deberán acreditar sus emisiones de MP, mediante el método CH-5. Tratándose de una fuente estacionaria puntual la medición deberá realizarse cada doce meses. En el caso de una fuente estacionaria grupal la medición deberá realizarse cada tres años. En ambos casos, la medición deberá ser realizada por los

Laboratorios de Medición y Análisis autorizados por el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana.

1.4 Planteamiento del Seminario y Área de Estudio

En base a los antecedentes descritos anteriormente, en este Seminario de Título se buscó realizar una caracterización y cuantificación de los gases y/o partículas emitidos por las fuentes emisoras de la fábrica Cerámicas Santiago S.A, verificando el cumplimiento de las normas vigentes. Asimismo se estudió el D.S. 29/2013 que establece la “Norma de emisión para incineración, co-incineración y coprocesamiento” para la posible regularización del combustible utilizado.

En base a los resultados se analizó la factibilidad de realizar un recambio tecnológico o mejoras del sistema de abatimiento de gases y/o partículas existentes.

El área de estudio se localizó en la Región Metropolitana, dentro de la comuna de Lampa en la localidad de Batuco (33°13'34" S; 70°49'4" O)

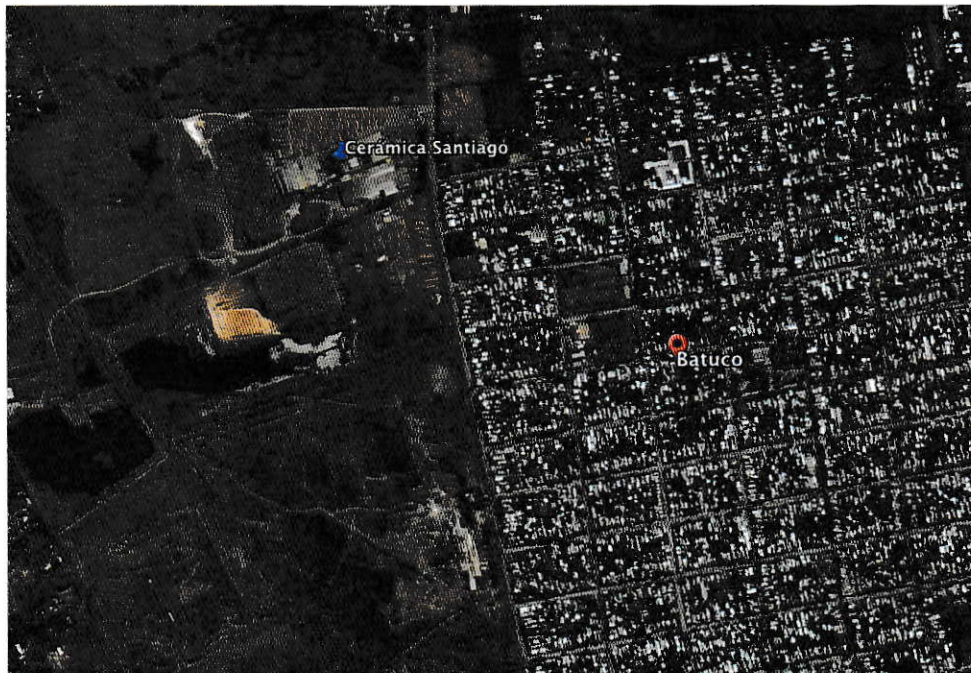


Figura 8 Localización de la Empresa Cerámica Santiago (Fuente: Google Earth)

1.5 Objetivos del Seminario

1.5.1 Objetivo General

Verificación del cumplimiento de las normas vigentes aplicables a las fuentes puntuales existentes en la fábrica y a las características de la mezcla combustible alternativa.

1.5.2 Objetivos Especificos

- Verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases NO_x y Material Particulado.
- Regularización del uso de mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el D.S. 29/2013.
- Análisis de las emisiones registradas y factibilidad técnica de posibles alternativas de sistemas de abatimiento.

II METODOLOGÍA

2.1 Verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases NOx y Material Particulado.

2.1.1 Análisis Bibliográfico

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica acerca de la legislación aplicable para este tipo de empresas, se estudió los valores de emisión máxima permitida y los requisitos que esta debía cumplir.

2.1.2 Muestreo en terreno

Para el Horno de Cocción de ladrillos se realizó el muestreo de gases con los métodos CH-2 y CH-7, ambos métodos EPA exigidos por la Seremi de Salud RM. También se realizó el muestreo de partículas con el método CH-5, método EPA exigido por la Seremi de Salud RM

Para el caso de los Grupos Electrónicos 1 y 2 se realizó el muestreo de partículas con el método CH-5.

Todos los muestreos fueron realizados por un laboratorio debidamente acreditado por la Seremi de Salud RM. A continuación



Figura 9 Muestras obtenidas del método CH-5 para material particulado en horno túnel

2.1.3 Análisis de datos obtenidos

Se analizaron los datos obtenidos con relación a la legislación aplicable a la empresa Cerámica Santiago.

2.2 Regularización del uso de mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el D.S. 29/2013

2.2.1 Análisis de emisiones producidas por biocombustible

Se analizaron los muestreos de gases y partículas ya existentes, para determinar si la biomasa cumple con las emisiones atmosféricas aplicables y con la normativa vigente. Los métodos de muestreo utilizados para medir gases fueron CH-2 y CH-7, mientras el utilizado para medir partículas correspondió al método CH-5. Los muestreos fueron realizados por un laboratorio acreditado por la Seremi de Salud RM.

2.2.2 Recopilación de antecedentes energéticos

Se recopiló información sobre requerimientos energéticos, como consumo de combustible, antecedentes del horno (temperatura máxima y mínima, tiempo de residencia de los gases de combustión, entre otros), porcentaje de los componentes de la biomasa, humedad final y poder calorífico.

2.2.3 Análisis del D.S 29/2013 “Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga decreto N°45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia”.

Se analizó el D.S. 29/2013, se estableció el procedimiento para demostrar la naturaleza del combustible y la posible regularización de este.

2.3 Análisis de datos y propuesta de medidas para reducir las emisiones

2.3.1 Análisis Bibliográfico

Se recopiló información de artículos científicos, libros y estudios sobre las tecnologías de abatimiento de emisión gases y partículas

2.3.2 Caracterización de Gases y Partículas

Se realizó un estudio sobre las características de las moléculas gaseosas NOx y Material Particulado

2.3.3 Propuestas de cambios en el Sistema de Abatimiento

Se realizó una propuesta a partir de los contaminantes estudiados y las tecnologías de abatimiento

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Verificación del cumplimiento de la norma vigente para gases NOx Y Material Particulado.

Tal como se describe en el capítulo II, se realizó una revisión bibliográfica acerca de la legislación vigente aplicable a este tipo de empresas. A continuación se describe en la tabla 3 la información recopilada.

Tabla 4 Normativas aplicables a la empresa Cerámica Santiago (Fuente: Elaboración Propia)

Normativa	Contaminante	Emisión máxima
Decreto Supremo No 66 del año 2010 "Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)"	NOx	8 ton/año
	Material Particulado	2,5 ton/año
Decreto Supremo No 4 del año 1992 "Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales"	Material Particulado	112 mg/m ³

En la tabla que se encuentra anteriormente se observan dos Decretos Supremos vigentes aplicables a la empresa Cerámica Santiago. El primero es el Decreto Supremo No 66 del año 2010 donde se describen las exigencias de reducción de emisiones para el sector industrial y comercial, que describe a este tipo de fuente

como de tipo estacionaria puntual, ya que su caudal o flujo volumétrico es superior o igual a mil metros cúbicos por hora ($1000 \text{ m}^3/h$).

El Decreto Supremo anteriormente mencionado establece que este tipo de fuentes debe acreditar sus emisiones cada doce meses, estas deberán ser realizadas por laboratorios de medición y análisis autorizados por la Seremi de Salud RM. En el caso del Material Particulado la emisión máxima de este contaminante corresponde a 2,5 toneladas al año y para los gases NOx la emisión máxima es de 8 toneladas al año.

Otra norma aplicable a esta empresa manufacturera de ladrillos es el Decreto Supremo No 4 del año 1992, el presente Decreto Supremo se aplica a fuentes estacionarias puntuales y grupales que se encuentren ubicadas dentro de la Región Metropolitana, exceptuando las fuentes estacionarias puntuales que emitan más de una tonelada diaria de material particulado. Este Decreto menciona que las fuentes estacionarias puntuales no podrán emitir material particulado en concentraciones superiores a 112 miligramos por metro cúbico bajo condiciones estándar, mediante el muestreo isocinético. Las fuentes estacionarias deberán acreditar sus emisiones de Material Particulado mediante el método CH-5, tratándose de una fuente estacionaria puntual la medición deberá realizarse cada doce meses.

En este seminario de título el laboratorio encargado de llevar a cabo el muestreo fue el laboratorio JHG, que realizó las mediciones con el método CH-7 y CH-2 para gases NOx y CH-5 para Material Particulado.

A continuación en la tabla 5 se observan los resultados obtenidos en el muestreo realizado en el horno túnel para Material Particulado y gases NOx junto al combustible utilizado donde se puede observar el cumplimiento del Decreto Supremo 66 del año 2010 y del Decreto Supremo 4 del año 1992.

Tabla 5 Muestreos realizados en Horno túnel para Material Particulado y gases NOx (Fuente: Elaboración propia)

Normativa	Contaminante	Emisión máxima	Muestreo	Verificación
Decreto Supremo No 66 del año 2010 "Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)"	NOx	8 ton/año	0,28	✓
	Material Particulado	2,5 ton/año	0,8	✓
Decreto Supremo No 4 del año 1992 "Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntales y Grupales"	Material Particulado	112 mg/m ³	7,3	✓

Los Grupos Electrógenos al ser utilizados dos horas al día durante los meses de Abril a Septiembre son denominados como grupos electrógenos de respaldo puntuales, estos deben acreditar el cumplimiento de la norma de emisión de material particulado (112 mg/m³) mediante la realización de un muestreo isocinético de tres corridas con método CH-5, el cual tendrá la vigencia de 1 año.

A continuación en la tabla 6 se observan los resultados obtenidos en el muestreo realizado en los grupos electrógenos para material particulado, donde se puede observar el cumplimiento del Decreto Supremo No 4. Para el caso de la fuente PR-4051 podrá operar sin restricciones en la Región Metropolitana, mientras que la fuente PR-4052 no podrá operar en pre-emergencia y emergencia ambiental debido a que su emisión de material particulado presentó concentraciones mayores o iguales a 32 mg/m^3 y 28 mg/m^3 respectivamente.

Tabla 6 Muestreos realizados en Grupos Electrógenos para Material Particulado (Fuente: Elaboración propia)

Fuente	Normativa	Contaminante	Emisión máxima [mg/m ³]	Muestreo [mg/m ³]	Verificación
PR-4051	Decreto Supremo No 4 del año 1992 "Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales"	Material Particulado	112	18,6	✓
PR-4052				53,9	✓

Los gases NOx se exceptúan de realizar muestreos para acreditar emisiones debido a que estos grupos electrógenos operan sólo en casos de emergencia.

3.2 Regularización del uso de mezcla de biocombustible adecuada para el Horno, que cumpla con el D.S. 29/2013

Desde el año 2008, Cerámica Santiago S.A. producto de problemas en el suministro de gas natural desde Argentina comenzó a realizar investigaciones con el fin de buscar alternativas de combustibles que permitieran sostener el alza de los costos de producción y mantener la competitividad en la industria de ladrillos en el país, siempre resguardando cumplir con la normativa legal vigente. Tales investigaciones concluyeron que la mezcla de gas natural con biomasa cumplía con los requerimientos de la empresa como también con las emisiones atmosféricas generadas.

Por otro lado debido a lo anteriormente expuesto y al Artículo 41 del Decreto Supremo No 66 que se refiere a los cambios de combustibles para fuentes estacionarias, este dice lo siguiente: “Los titulares de fuentes estacionarias deberán informar a la Seremi de Salud RM, con anterioridad al hecho, cada cambio de combustible u otra condición que incida en un aumento o reducción de emisiones”. Es por esta razón que la empresa Cerámica Santiago informa a la Seremi de Salud RM del cambio de combustible, a lo que esta responde exigiendo tres puntos para la regularización del biocombustible:

1. Estudios que demuestren que la biomasa utilizada cumple tanto con los requerimientos técnicos como con las emisiones atmosféricas.

La Tabla 7 expuesta a continuación muestra el cumplimiento de la normativa vigente aplicable a la empresa Cerámica Santiago S.A. para los distintos tipos de combustibles y la mezcla entre ellos.

Tabla 7 Muestreo realizado en horno túnel para Material Particulado y gases NOx que da cumplimiento al D.S. 66/2010 y al D.S. 4/1992 (Fuente: Elaboración Propia)

Normativa	Contaminante	Combustible	Emisión Máxima	Muestreo
Decreto Supremo No 66 del año 2010 "Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)"	Material Particulado	Biomasa + Gas Licuado	2,5 [ton/año]	1,7 [ton/año]
		Biomasa + GNL		1,3 [ton/año]
	NOx	Biomasa + Gas Licuado	8 [ton/año]	6,3 [ton/año]
		Biomasa + GNL		2,6 [ton/año]
Decreto Supremo No 4 del año 1992 "Establece norma de emisión de Material a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales"	Material Particulado	Biomasa + Gas Licuado	112 [mg/m ³]	11,8 [mg/m ³]
		Biomasa + GNL		14,7 [mg/m ³]

En la tabla anteriormente expuestas se puede apreciar que la mezcla de biomasa con gas natural o con gas licuado cumple con las normativas vigentes aplicables a esta industria.

2. Requerimientos energéticos, antecedentes técnicos del horno y parámetros críticos para el uso final de la mezcla de biomasa.

La Tabla 8 presenta los antecedentes técnicos del horno y del combustible requeridos por la Seremi de Salud RM, para complementar la regulación del biomasa utilizada.

Tabla 8 Antecedentes requeridos por la Seremi de Salud RM. (Fuente: Elaboración Propia)

Requerimientos Energéticos del horno	30.000-33.000 MMBTU/MES
Consumo combustible	313 m ³ /h GNL
	1149 Kg/h Biomasa
Temperatura máxima	900 °C
Temperatura mínima	100 °C
Tiempo de residencia de los gases	22.32 seg
Humedad final de los gases	8,20%
Temperatura de los gases	41°C
Velocidad de los gases	1,9 m/s
Poder calorífico biomasa	3750 kcal/m ³
Humedad biomasa	12%
Presión de trabajo horno	0,7 Kg/cm ²
Poder calorífico gas natural	9300 Kcal/m ³

3. Dar cumplimiento al D.S 29/2013

Siguiendo con lo expuesto anteriormente y profundizando en el tema de la biomasa utilizada, se tomó la opción de emplear una mezcla de afrecho de pepa de uva y rosa mosqueta con la incorporación de aserrín de madera no tratada, esta mezcla de biomasa se puede incluir dentro del termino biomasa no tratada En el Artículo 2 del Decreto Supremo No 29 del año 2013 se expone lo siguiente: “También se entenderá por combustibles tradicionales a los siguientes combustibles sólidos de uso común: Antracita, carbón bituminoso (hulla), carbón sub-bituminoso (lignitos negros), lignitos, turba, carbón coke, carbón vegetal y biomasa no tratada, hidrógeno, biogás y otros combustibles definidos por el Ministerio de Energía. Es por este Artículo que el combustible utilizado no se encuentra incluido dentro del D.S. No 29/2013 ya

que esta norma de emisión regula a las instalaciones de incineración, las instalaciones de coincineración y las instalaciones de coprocesamiento que correspondan a hornos de cemento, que utilicen combustibles distintos a los tradicionales que pueden causar efectos negativos sobre la salud de la población y los recursos naturales, derivados de las emisiones tóxicas provenientes de los procesos regulados por este decreto.

Al contrario de la biomasa no tratada que forma parte de los combustibles tradicionales, se hace mención al termino biomasa tratada: Aquella conformada por sustancias o materiales que han sido sometidas a tratamiento con productos químicos que contengan o puedan generar al menos uno de los elementos o compuestos químicos regulados por el D.S No 29/2013 con excepción del Material Particulado (MP) y del Monóxido de Carbono (CO).

Es por esta razón que una de las formas de dar cumplimiento al Decreto Supremo No 29 del año 2013 es acreditar que el combustible utilizado no corresponde a biomasa tratada, es decir, que no haya pasado por algún tratamiento químico que puede emitir algunos de los compuestos regulados por el este decreto, de esta manera se entiende que el combustible empleado recae en la biomasa no tratada siendo parte de la lista de combustibles tradicionales que no son regulas por el decreto anteriormente mencionado.

Debido a que la Seremi de Salud RM no especifica la forma de cómo se debe realizar el muestro para realizar la regularización del biocombustible según el D.S 29/2013, ni tampoco se menciona en el mismo decreto, se realizo un consulta formal a la Seremi de Salud con fecha 10 de febrero, el motivo de esta carta era una solicitud de requerimientos para la regularización de uso de biomasa en la fuente horno de cocción de ladrillos. Dicha consulta aun se encuentra en curso por lo cual no fue posible completar este objetivo.

3.3 Análisis de datos y propuesta de medidas para reducir las emisiones

Con los datos expuestos anteriormente se realizó un análisis de las emisiones donde fue posible determinar que la empresa Cerámica Santiago S.A. cumple con la normativa vigente aplicable a este tipo de industrias. Pero debido a los altos costos que genera el uso de gas natural, la empresa está analizando que el combustible utilizado sea 100% biomasa, producto de esto es posible que el escenario cambie en cuanto a emisiones y será necesario estar preparado y al tanto de las posibles mejoras al sistema o si será necesario agregar nuevas tecnologías que lo complementen.

Además se debe tener en consideración el proyecto en curso Santiago Respira que establecerá nuevas normas de emisión para fuentes fijas y para grupos electrógenos, el material particulado no se podrá emitir en concentraciones superiores a 20 mg/m^3 , para el caso de los gases NOx los procesos de combustión con una potencia térmica mayor o igual a 20 MWt no podrán emitir una concentración que supere los 300 ppm. A continuación se explican las propuestas realizadas:

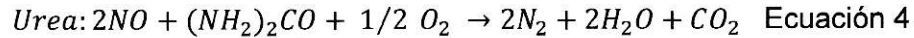
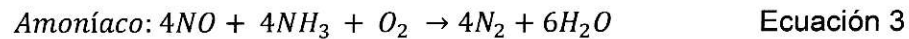
- El scrubber o lavador de gases instalado en la chimenea funciona disolviendo o absorbiendo el contaminante en el líquido de lavado, el líquido de lavado usado dependerá de las propiedades del contaminante, en este caso se utiliza agua.

El contaminante principal que se quiere abatir en esta etapa son los gases NOx. Estos gases están compuestos aproximadamente en un 90% de NO (insoluble en agua) y un 10% de NO₂. Por lo tanto al estar utilizando agua como solvente, este no reacciona con el NO y la porción de NO₂ al tener contacto con el agua generará la siguiente reacción:



Se analizó la reacción anterior y no es favorable si queremos abatir con los gases NOx, ya que por un lado se sigue emitiendo NO y por otro se forma un ácido que puede dañar la estructura de la chimenea. La solución más eficaz para este tipo de problema es adicionar Amoniacó (NH₃) o de Urea a la corriente de gases cuando estos se encuentren a unos 900°C. Este proceso denominado técnica de reducción selectiva utiliza las formas

reducidas del Nitrógeno (NH_3 y Urea) para que reaccionen con las formas oxidadas (NO y NO_2) formando Nitrógeno Molecular y agua.



Una de las diferencias entre la utilización de Amoniaco o de Urea, es que el Amoniaco se inyecta, normalmente, en el flujo de humos en estado gaseoso, mientras que la urea se inyecta como solución acuosa. La tecnología de la urea implica un mayor tiempo de residencia para las reacciones, debido al tiempo requerido para vaporizar las gotitas de líquido, una vez inyectadas en el flujo de humos.

Los sistemas de base Urea tienen ventajas sobre los sistemas de base Amoniaco. La Urea no es tóxica, es un líquido menos volátil y se puede almacenar y manejar con mayor seguridad. Las gotas de la solución de Urea pueden penetrar más adentro en los humos cuando se inyectan dentro de la caldera, mejorando la mezcla con los humos, lo cual es difícil en calderas grandes. Sin embargo, la Urea es más cara que el Amoniaco. La eficiencia de disminución de los gases NO_x varía entre un 20% y un 40% dependiendo de las condiciones en las que se desarrolle, como la temperatura y la concentración de los gases (Kinga Skalska, 2010)

La empresa Cerámica Santiago ya cuenta con las condiciones técnicas para realizar este cambio que mejorará el abatimiento de gases NO_x .

- Para el caso del Material Particulado lo primero que debemos tener en cuenta para la elección de un sistema de abatimiento es el tamaño de las partículas, debido a que las partículas provienen directamente de un proceso de combustión podemos inferir que el tamaño que poseen es relativamente pequeño. Mi propuesta debido a lo anteriormente expuesto es instalar un filtro de manga debido a su alta eficiencia que aproximadamente redondea el 99,9% incluso con las partículas que poseen un difícil rango de control (0,2 a 0,5 μm). Para la elección del material es más óptimo que sea resistente a altas temperaturas y a altos rangos de acidez. Como por ejemplo la cerámica que resiste temperaturas de filtración más elevadas hasta 900°C,

tiene una mejor resistencia a la corrosión y al ataque ácido, la velocidad de filtración es más eficiente y tiene una mejor capacidad de retención de gases ácidos , por otro lado la vida de los de los cartuchos cerámicos es más larga.

Se prefiere este sistema de abatimiento frente a un precipitador electrostático debido a que este último posee mayores costos de implementación, mantenimiento y gastos de electricidad, teniendo en cuenta que ambos poseen aproximadamente la misma eficiencia.

La empresa Cerámica Santiago cuenta con las condiciones adecuadas para hacer factible técnicamente esta incorporación tecnológica de abatimiento de partículas.

IV CONCLUSIONES

A continuación luego de analizar los resultados anteriormente expuestos, se puede concluir que:

- Según lo demostrado en este Seminario de Título la empresa Cerámica Santiago S.A. cumple con el Decreto Supremo número 66 del año 2010 y con el Decreto Supremo número 4 de 1992, ambos para Material Particulado en el horno de cocción de ladrillos.
- La empresa Cerámica Santiago S.A. cumple con el Decreto supremo número 66 del año 2010 para emisión de gases NO_x, obteniéndose resultados que prueban que las emisiones de la fábrica manufactura de ladrillos alcanza un 3,5% de lo permitido por esta normativa.
- Los grupos electrógenos de respaldo para la generación de energía eléctrica cumplen con el Decreto Supremo numero 4 del año 1992 que indica que la concentración máxima de emisión corresponde a 112 mg/m^3
- El funcionamiento del horno con el uso de biocombustible formado por afrecho de pepa de uva, rosa mosqueta y aserrín de madera no procesada, cumple con las normas vigentes aplicables a la empresa manufacturera de ladrillos.
- No fue posible completar el proceso de regularización de la biomasa, a pesar de la recolección de antecedentes, debido a la tardanza en la respuesta de la Seremi de la Salud RM ante la consulta formal realizada.
- El sistema de abatimiento de gases necesita mejoras a través de la inyección de compuestos reducidos de Nitrógeno y así generar la liberación de Nitrógeno Molecular.
- Para controlar el material particulado será necesario adicionar nuevas tecnologías como un filtro de manga de material cerámico que tolera temperaturas de filtración hasta 900°C y posee mayor resistencia a la corrosión y al ataque ácido.

V BIBLIOGRAFÍA

- C. Ehrlich, G. N. (2007). PM10, PM2,5 -Emissions from industrial plants- Results from measurement programmes in Germany. Alemania.
- Castells, X. E. (2012). *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*. Cataluña, España: Díaz de Santos.
- Castro, I. S. (2010). *Tecnologías de Mitigación de Emisiones*. Pontificia Universidad Católica
- Cerámica Santiago S.A.: <http://www.ceramicasantiago.cl/index.php>
- EPA. (s.f.). *METHOD 7—DETERMINATION OF NITROGEN OXIDE EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES*.: <https://www3.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-07.pdf>
- EPA. (s.f.). *METHOD 2—DETERMINACION OF STACK GAS VELOCITY AND VOLUMETRIC FLOW RATE (Type S Pitot Tube)*.: <https://www3.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-02.pdf>
- EPA. (s.f.). *METHOD 5—DETERMINATION OF PARTICULATE MATTER EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES*.: <https://www3.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-05.pdf>
- Heumann, W. L. (1997) "Industrial Air Pollution Control Systems". McGraw-Hill.
- Kinga Skalska, J. S. (2010). *Trends in NOx abatement: A review*. Lodz, Polonia: ELSEVIER.
- Lissi, E., & Sanhueza, E. (1996). *Radiación Solar y Fotoprocesos atmosféricos*. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile
- Martin, R. (1971). *Construction Details of Isokinetic Source-Sampling Equipment*. (E. P. Agency, Ed.) Carolina del Norte, USA.
- MINISTERIO DE SALUD . (1992). *BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE*. Decreto Supremo número 4 "Establece norma de emisión de Material Particulado a fuentes estacionarias puntuales y grupales" .
- MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. (2009). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Decreto Supremo número 66 "Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)".

- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2013). *BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE*. Decreto Supremo número 29 "Establece norma de emisión para incineración, coincineración y coprocesamiento y deroga Decreto N°45 del 2007, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia".
- Mario J. Molina y Luisa T. Molina (2004). *Megaciudades y contaminación atmosférica*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Morales, R., & otros. (2006). *Contaminación atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*. (R. G. Morales, Ed.) Santiago, Chile: Universitaria.
- Sanchis, V. (2015). *El Mercado de los Materiales Cerámicos en Chile*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Santiago de Chile, Santiago.
- Sounak Roy, M. H. (2009). *Catalysis for NOx abatement*. Bangalore, India: ELSEVIER.
- Woodard, K. (1998). *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*. Chapel Hill, Carolina del Norte, USA.