



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE GASIFICACIÓN:
EL CASO DE NIPPON-STEEL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A :

ODDET RAMOS GARRIDO



México, D.F.,

Febrero 2009

JURADO DESIGNADO:

Presidente:	Profesor:	<u>EDUARDO ROJO Y DE REJIL</u>
Vocal:	Profesor:	<u>REYNALDO SANDOVAL GONZALES</u>
Secretario:	Profesor:	<u>HUGO NORBERTO CICERI SILVENSES</u>
1er. Suplente:	Profesor:	<u>ALEJANDRO LEON IÑIGUEZ HERNANDEZ</u>
2do. Suplente:	Profesor:	<u>RODOLFO TORRES BARRERA</u>

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Edificio "D" Cubículo 8

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

Asesor del Tema

M. en C. Hugo Norberto Ciceri Silvenses

Sustentante

Oddet Ramos Garrido

Dedico esta tesis a mi querido y gran amigo M. en. C Hugo Norberto Ciceri Silvenses y a los profesores Reynaldo Sandoval, Eduardo Rojo y De Regil en testimonio de mi gratitud ilimitada por su apoyo, aliento y estímulo, que gracias a ello me posibilitó la meta de mi formación profesional..

Gracias

Mami, le agradezco todos sus esfuerzos, cariño, guía y apoyo, ya que usted compartió mis desvelos, tristeza y preocupaciones a lo largo de mi carrera, por eso yo comparto este logro sabiendo que también es suyo. Jamás existirá una forma de agradecerle en vida todos sus sacrificios...

Muchas gracias

Ulises, como testimonio de mi gratitud te dedico esta tesis, ya que tu compartiste los momentos más duros de la carrera, nadie más que tu sabe cuán agradecida estoy contigo por siempre a ver recibido de tu parte amor, comprensión y tolerancia..

Gracias..

Agradezco a mi familia, amigos y compañeros por brindarme su apoyo y consejos, ya que con ellos he llegado a realizar mi más grande meta y también un especial agradecimiento a la UNAM por darme la oportunidad de estudiar en esta institución. con admiración y respeto ...

Oddet Ramos Garrido

índice

Introducción	.....	12
Objetivo	.....	13
Justificación	.....	13

Capítulo 1 Marco de referencia

1,1	Antecedentes	.....	16
	Alternativas tecnológicas para procesar		
1.1.1	Residuos Sólidos Municipales (RSM)	.....	16
1,2	Concepto de gasificación	.....	18
1,3	Concepto de pirólisis	.....	20
1,4	Antecedentes Nippon Steel	.....	20
	Localización de plantas con tecnología		
1,5	Direct Melting System (DMS)	.....	23
1,6	Conclusión del capítulo	.....	30

Capítulo 2 Análisis del proceso

2,1	Principales tipos de reactores	.....	32
	Reactores de lecho móvil en contracorriente		
2.1.1	ó <i>updraft</i>	.....	32
	Reactor de lecho móvil en corrientes		
2.1.2	paralelas ó <i>downdraft</i>	.....	33
2.1.3	Reactor de lecho fluidizado	.....	34
2.1.4	Flujo removido	.....	34
2,2	Descripción del proceso	.....	35
2,3	Descripción de las etapas del proceso	.....	38
2.3.1	Etapas de reacción	.....	38
	Plantas Pressure Swing Adsorption (PSA)		
2.3.1.1	de gas oxígeno	.....	41
2.3.1.2	Cámara de combustión	.....	42
2.3.2	Etapas de recuperación de energía	.....	42
2.3.3	Etapas de separación	.....	43
2.3.3.1	Precipitador electrostático	.....	45
2,4	Modelo para el cálculo del balance de masa	.....	46
2,5	Consumo de carbón	.....	48
2,6	Tratamiento de los gases a la atmósfera	.....	49
2,7	Evolución tecnológica .	.....	51

2,8	Innovaciones del proceso de tratamiento RSM con tecnología DMS.	51
2.8.1	Innovaciones en el reactor de fusión	51
2.8.2	Innovación en la cámara de combustión	57
2,9	Conclusión del capítulo	59

Capítulo 3 Desempeño ecológico

3,1	Política de gestión ambiental de Nippon Steel	61
3,2	Propiedades de los residuos de fusión y su aplicación	62
3,3	Conclusión del capítulo	65

Capítulo 4 Impacto ambiental

4,1	Impacto ambiental	67
4.1.1	Evaluación del impacto ambiental	67
4.1.2	Metodología	68
4.1.3	Elementos que contiene una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	69
4,2	Contaminación atmosférica	71
4.2.1	Clasificación de los gases contaminantes	73
4,3	Principales contaminantes atmosféricos	74
4.3.1	Monóxido de carbono	75
4.3.2	Dióxido de carbono	75
4.3.3	Dióxido de azufre	75
4.3.4	Ácido sulfhídrico	76
4.3.5	Hidrocarburos	76
4.3.6	Oxido nítrico	76
4.3.7	Dióxido de nitrógeno	77
4.3.8	Ozono	77
4,4	Efectos de la contaminación	77
4.4.1	Deposición ácida	78
4.4.2	Inversión térmica	79
4.4.3	Agotamiento del ozono	79
4.4.4	Calentamiento global	80
4.4.5	Legislación	81
4,5	Contaminación del agua	86
4.5.1	Calidad del agua	87
4.5.2	Consumo de agua	87
4.5.3	Agentes contaminantes del agua	88
4.5.4	Clasificación de los agentes contaminantes	89

	del agua		
4,6	Principales fuentes de contaminación	.....	91
4.6.3	Legislación	.....	94
4,7	Contaminación por ruido	.....	95
4.7.1	Niveles de exposición de sonido	.....	96
4.7.2	Fuentes de ruido	.....	97
4.7.4	Prevención a las fuentes de ruido	.....	98
4.7.5	Legislación	.....	100
4,8	Contaminación del suelo	.....	101
4.8.1	Fuentes de contaminación del suelo	.....	101
4.8.2	Tipos de contaminantes	.....	101
4.8.3	Prevención de la contaminación	.....	102
4.8.4	Legislación	.....	103
4,9	Relación de los impactos ambientales con la tecnología Direct Melting System	.....	104
4,10	Conclusión del capítulo		105

Capítulo 5 Protocolo de Kyoto

5,1	Antecedentes del protocolo de Kyoto	.....	107
5,2	Bonos de carbono	.....	109
5,3	Relación de México con el protocolo Kyoto	.....	110
5,4	Conclusión del capítulo	.....	111

Capítulo 6 Incineración

6,1	Concepto de incineración	.....	113
6,2	Antecedentes de incineración	.....	114
6,3	Factores que interviene en el proceso de incineración	.....	115
6.3.1	Combustión de elementos simples	.....	115
6,4	La incineración de RSM en la Ciudad de México	.....	116
6,5	Elementos que constituyen el proceso de incineración	.....	117
6.5.1	Emisiones de gases provenientes de la incineración	.....	122
6,6	Situación en México	.....	122
6,7	Costos de Instalación y Funcionamiento	.....	123
6,8	Conclusión del capítulo	.....	124

Capítulo 7 Análisis y conclusiones sobre la tecnología DMS

7,1	Ventajas y desventajas de la tecnología	.....	126
	Conclusión sobre la tecnología Direct		
7,2	Melting System (DMS)	.....	127
	Referencias		
		.....	131

Índice de figuras

Figura No.1	Número de plantas en función de la capacidad acumulada	27
Figura No.2	Número de plantas en función de la producción acumulada	28
Figura No 1.3	Secuencia de evolución del tamaño del reactor en función de la capacidad	29
Figura No 2.1	Diagrama de bloques del proceso RSM, primera generación	37
Figura No 2.2	Reactor de fusión directa de la etapa de reacción	38
Figura No 2.3	Efecto de la mejora en el reactor de fusión	41
Figura No 2.4	Modelo para el cálculo del balance de masa	47
Figura No 2.5	Formas de consumo de carbón en el reactor de fusión	48
Figura No 2.6	Diagrama de bloques de innovaciones del proceso de RSM	50
Figura No 2.7	Sistema de inyección de combustible de la planta de prueba	53
Figura No 2.8	Cambio de altura en la cama de coque de inyección de combustible	53
Figura No 2.9	Efecto de la relación entre el consumo de coque y la temperatura de fundición	55
Figura No 2.10	Diagrama de bloques del proceso RSM, segunda generación	58
Figura No 3.1	Composición de los residuos de fusión	62
Figura No 4.1	Esquema para la Evaluación del Impacto Ambiental(EIA)	70
Figura No 4.2	Deposición ácida	78
Figura No 4.3	Niveles equivalentes de ruido	96
Figura No 4.4	Niveles equivalentes de ruido en NSCE	97
Figura No 4.5	Maquinas reglamentarias	99
Figura No 6.1	Proceso de incineración	117

Índice de tablas

Tabla No 1	Categorías y alternativas para procesar RSM	.....	17
Tabla No 2	Tecnologías y licenciadores por categoría	.....	17
Tabla No 3	Plantas de tratamiento RSM con tecnología DMS	.....	25
Tabla No.2.1	Gases desechados a la atmósfera	.....	49
Tabla No.2.2	Característica de los combustibles	.....	52
Tabla No.2.3	Resultados de operación de inyección de combustible	.....	54
Tabla No.3.1	Tamaño y composición de la escoria	.....	62
Tabla No.3.2	Resultado de las pruebas de las escoria	.....	63
Tabla No.4.1	Concentración de compuestos en atmósfera limpia y contaminación	.....	72
Tabla No.4.2	Principales compuestos contaminantes del aire	.....	74
Tabla No.4.3	NOM contaminación atmosférica	.....	82
Tabla No.4.4	Plaguicida restringidos en México	.....	92
Tabla No.4.5	Plaguicida autorizado en México	.....	93
Tabla No.4.6	NOM contaminación del agua	.....	94
Tabla No.4.7	NOM contaminación por ruido	.....	100
Tabla No.4.8	NOM contaminación al suelo	.....	103
Tabal No.6.1	Ventajas y desventajas de la incineración	.....	124
Tabla No.7.1	Ventajas de la tecnología DMS y de incineración	.....	126
Tabla No.7.2	Desventajas de la tecnología DMS y de incineración	.....	127



Glosario de términos.

Gasificación, se define como un proceso con reacciones termoquímicas, que convierte a un combustible sólido (biomasa, coque, carbón mineral), en un gas de alto valor energético partiendo de un agente gasificador, normalmente oxígeno, aire o vapor de agua. El proceso térmico se produce en una cámara de residuos sólidos donde se calienta a temperaturas entre los 800 a 1800 ° C, dependiendo de las características de la materia prima.

Pirólisis, se define como la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.

Combustión, reacción química exotérmica de oxidación, en la que un elemento combustible se combina con otro comburente, por ejemplo, oxígeno en forma de O₂ gaseoso, esta reacción está acompañada de un gran desprendimiento de energía térmica y energía luminosa.

Incineración, proceso térmico que conduce a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno.

Residuos sólidos municipales (RSM), están compuestos por numerosos desechos de tipo urbano, artículos de plástico, papel, cartón, cables, polietileno, vidrio, botellas, metales, etc. Por lo tanto en su composición hay numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos que se originan en la actividad doméstica de las ciudades.

Char, es un residuo carbonoso que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activado (son productos sólidos de una pirólisis).

Gas pobre, el gas combustible o gas pobre es una mezcla de monóxido de Carbono y Nitrógeno. Se obtiene por oxidación parcial de carbón puro utilizando aire seco, tiene una composición de 34,7% CO y 65% N₂



Dioxinas, son compuestos químicos obtenidos a partir de procesos de combustión que implican al cloro. El término se aplica indistintamente a las policlorodibenzofuranos (PCDF) y las policlorodibenzodioxinas (PCDD).

Furanos cuyo nombre químico es policloro-dibenzofuranos (PCDF) son un grupo de 135 compuestos de estructura y efectos similares a las dioxinas y cuyas fuentes de generación son la misma. Se considera que estos compuestos son los contaminantes principales de los policlorobifenilos (PCB). Cuando se hace referencia a las dioxinas y compuestos similares en los textos se incluye también a los furanos y PCB.



Glosario de fórmulas químicas.

CH₄: Metano

CO : Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

H₂: Hidrógeno

H₂O: Agua

O₂: Oxígeno

N₂: Nitrógeno

PCDF: Policloro-dibenzofuranos

PCDD: policlorodibenzodioxinas

Introducción

Grandes volúmenes de residuos sólidos municipales se generan diariamente en las ciudades de nuestro país, lo que constituye un serio problema para la sociedad y el medio ambiente.

Es indudable que la calidad del aire ha sufrido un considerable deterioro en las últimas décadas, ya que las nubes contienen impurezas tales como, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, polvos, etc., productos de las combustiones. Por ello, la contaminación del aire, no puede referirse a un solo contaminante, sino a un gran número de ellos, dentro de las fuentes de contaminación atmosférica, se encuentran los incineradores de basura y algunas otras maniobras que con ella se realizan para su tratamiento, es decir, tanto en el vertedero de recepción y distribución de la propia basura, el punto de tratamiento de escorias y el ruido de la planta, que podría llamarse contaminación urbana.

También, hay emisiones de los sólidos por la chimenea y existe la contaminación gaseosa, originada por los gases producidos en el proceso de combustión, estos gases son principalmente CO , CO_2 , O_2 , NO_x y SO_2 , cuando no se lleva a cabo la combustión completa. Otro efecto de contaminación producido por las plantas de incineración, es el arrastre debido a corrientes de aire por encima de la basura en el punto de recepción, que incorporan al aire importantes cantidades de gases como metano, CO_2 , gases de efecto invernadero o gases tóxicos como el benceno, tricloroetileno, etc. y si los residuos contiene material putrescible hay contaminación por olor y organismos en los recursos del agua. Por último, los puntos de recolección y tratamiento de escorias también generan contaminación.

Sin embargo, existen en nuestro país incineradores rotatorios pequeños, entre los que podemos citar el de la corporación CIBA-GEIGY, una compañía farmacéutica que lo utiliza para la incineración de los residuos peligrosos generados en sus laboratorios; éste es uno de los más modernos pues se opera a través de un sistema computarizado. Este incinerador es resultado de la tecnología Suiza y Mexicana desarrollada en la UNAM. En este trabajo presentando, se analiza un proceso que pueda ser útil para el procesamiento de residuos sólidos municipales.

Objetivo

Revisar y analizar los principales parámetros del proceso tecnológico *Direct Melting System (DMS)* para la gasificación de Residuos Sólidos Municipales (RSM), desarrollado por la empresa *Nippon Steel Corporation*. Así como también evaluar las ventajas y desventajas de la tecnología (DMS) en comparación con el proceso convencional de incineración.

Este proceso DMS está teniendo una importante aceptación en diversos países y compete con otras tecnologías para el tratamiento de estos residuos, por ello el estudio y análisis del mismo tiene relevancia.

El análisis tendrá como eje aquellos aspectos que tienen especial importancia para la toma de decisiones de directivos que se enfrentan a problemáticas relacionadas con la administración y eliminación de residuos sólidos municipales y que deben elegir cursos de acción que sean compatibles con el medio ambiente y el contexto social en que se desenvuelven, sin embargo, se debe mencionar que el estudio de la tecnología DMS se ve limitado ante la escases de información acerca de los costos de inversión, dimensión de las plantas y los costos de operación.

Justificación.

En la ciudad de México habitan más de 19 millones de personas, se estima que los habitantes de la ciudad diariamente desechan 1.3 kilogramos de desechos, que necesitan un espacio donde ser depositados, por ello ante la escases de vertederos el presente estudio nos permite ver una alternativa para la eliminación de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) y la disminución del impacto de los residuos sólidos sobre el medio ambiente mediante la tecnología de gasificación del proceso tecnológico *Direct Melting System (DMS)*.

El departamento del Distrito Federal instaló hace varios años una planta incineradora en la ciudad de México que sólo se ha utilizado con fines experimentales, esta planta para el gobierno no deja de ser una alternativa para la eliminación de los RSM, ya que les permitiría reducir su volumen hasta un 90 %, aunque genera unos subproductos gaseosos que, de no manejarse

adecuadamente el proceso, podrían causar la contaminación del medio ambiente a niveles muy nocivos para la salud del hombre.

Por esta razón la tecnológica DMS es una buena alternativa para el tratamiento de estos residuos.



Capítulo 1

Marco de referencia



En el presente capítulo se explica brevemente el desarrollo histórico de Nippon Steel, así como la teoría básica de gasificación y pirólisis, posteriormente se hace un análisis de la tecnología y su aplicación para el tratamiento de RSM.

1.1 Antecedentes

El proceso que es objeto de esta investigación se encuentra dentro de la categoría de las tecnologías térmicas (procesos de gasificación) donde compite con otras; un acercamiento a esta taxonomía se presenta en las tablas 1 y 2, información que será utilizada como punto de partida de la investigación como así también las referencias preliminares que se incluyen en el proyecto que se presenta.

1.1.1 Alternativas tecnológicas para procesar Residuos Sólidos Municipales (RSM)

La tabla 1 da cuenta de las principales rutas tecnológicas que podrían utilizarse como alternativas para procesar RSM, en ella se destacan 13 opciones tecnológicas agrupadas en dos categorías mediante las cuales se pueden tratar los RSM¹. En la categoría de las tecnologías térmicas se encuentra la correspondiente a Gasificación que es el objeto de este estudio.

La tabla 2 explica 25 tecnologías con sus respectivos licenciadores. Todas procesan RSM y desechos industriales, además de que obtienen energía y gas de síntesis como productos principales. Sus escalas de procesamiento varían entre las 100,000 Tpa a las 3000,000 Tpa. Su eficiencia térmica medida en kWh/T varían entre los 250-700 kWh/T, lo que depende del tipo de alimentación, el poder calorífico y la opción tecnológica que se utilice.

¹Los RSM están compuestos por numerosos desechos de tipo urbano, artículos de plástico, papel, cartón, cables, polietileno, vidrio, botellas, metales, etc. Por lo tanto en su composición hay numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos que se originan en la actividad doméstica de las ciudades. Los compuestos orgánicos responden a la fórmula general $C_{10}H_{10}O_4$. Cuando la combustión ocurre en presencia de oxígeno, cada mol de $C_{10}H_{10}O_4$ genera 6 moles de CO_2 . Además muchos de los subproductos de la combustión son nocivos (SO_2 , HCl, PCBs, dioxinas, Compuestos volátiles, Partículas suspendidas, etc).



Finalmente el costo de capital, que es función de la tecnología, de las consideraciones del diseño y del tamaño de la planta, se encuentra en un rango de 270 a 600 (dólares/Tonelada)². En la mayoría de los casos, los datos corresponden a tecnologías probadas. Es en este marco de referencia donde la tecnología de fusión directa (DMS) deberá ser analizada.

Tabla No.1 Categorías y alternativas para procesar RSM

Tecnologías térmicas	Reciclo térmico avanzado Pirolisis Pirolisis/gasificación Pirolisis/ con corriente de vapor Gasificación Convencional/ lecho fluidizado Gasificación Convencional/ lecho fijo Gasificación por Arco de Plasma
Tecnologías/Biológicas y Químicas	Digestión anaeróbica Digestión anaeróbica/composta Etanol fermentación Gas de síntesis a etanol Biodiesel Cracking catalítico

Fuente: Ciceri, Hugo Norberto, en: *Evaluación de técnicas con fundamento en el plasma térmico para la producción de gases de síntesis y energía a partir de desechos municipales*, 2006, Facultad de Química, UNAM.

Tabla No 2. Tecnologías y licenciadores por categoría

Clasificación	Tecnología	Licenciador
Biológica	Aeróbica composta	Wright Enviromental Management Inc
Biológica	Aeróbica composta	American Bio-Tech
Biológica	Aeróbica composta	Horstmann Recyclingtechnik GmbH
Biológica	Anaeróbica digestión	Canada Composting, Inc. (CCI)
Biológica	Anaeróbica digestión	Valorga S.A.S
Biológica	Anaeróbica digestión	Organic Waste System N.V. (OWS)
Biológica	Anaeróbica digestión	ISKA GmbH
Biológica	Anaeróbica digestión	Arrow Ecology Ltd. (Arrow)
Biológica	Anaeróbica digestión	Citec
Biológica	Anaeróbica digestión	Global Renewables/ISKA
Térmicas	Térmicas	Changing World Technologies
Térmicas	Gasificación	Primenergy (RRA)
Térmicas	Gasificación	Omnifuel/Downstren Systems (Omni)
Térmicas	Gasificación	Whitten Group/Entech Renewable

² Todos los datos exhibidos son preliminares.



Térmicas	Gasificación	Energy System
Térmicas	Gasificación	Energy Products Idaho
Térmicas	Sistemas de reciclo térmico avanzado	Ebara
		Consutech Systems LLC
Térmicas	Sistemas de reciclo térmico avanzado	Seghers Keppel Technology, Inc.
Térmicas	Sistemas de reciclo térmico avanzado	Waste Recovery Seattle, Inc.
Térmicas	Sistemas de reciclo térmico avanzado	Basic Envirotech Inc.
Térmicas	Sistemas de reciclo térmico avanzado	Covanta Energy Corp.
Térmicas	Pirólisis/reformado vapor	Brighstar Enviromental

Fuente: Ciceri, Hugo Norberto, en: *Evaluación de técnicas con fundamento en el plasma térmico para la producción de gases de síntesis y energía a partir de desechos municipales*, 2006, Facultad de Química, UNAM.

Otros datos importantes, tiene que ver con el volumen y la naturaleza de los residuos post-proceso, los cuales dependen de la tecnología y la composición de la alimentación. Por ejemplo, la tecnología utilizada por Ebara³ que procesa 100,000 Tpa de RSM poseen dos residuos principales: slag 11,300 Tpa y 1,230 Tpa metales que habrán de ser manejados posteriormente y cuya eficiencia es de 376 kW/T.

1.2 El proceso de gasificación.

La gasificación se define como un proceso térmico que permite la conversión del residuo sólido en un gas de alto valor energética, lo cual ocurre por medio de la adición de gases reactivos (un agente gasificador), generalmente oxígeno, aire y / o vapor de agua, a consecuencia de un proceso de oxidación parcial.

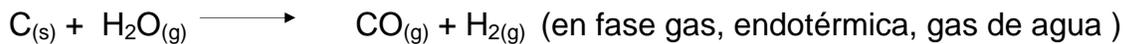
³ Ebara Corporation provee de tecnologías para el tratamiento de aguas y de RSM al rededor del mundo, TwinRec: tiene un gasificador de lecho fluidizado de circulación interna de tamaño compacto, al cual se le suministra la cantidad de aire adecuada para promover un rápido y turbulento mezclado del combustible con el lecho operando a temperaturas entre 500 - 600 ° C. El gas de síntesis y las partículas de carbón, ambos producidos en el gasificador, se queman junto a la cámara de combustión ciclónica a temperaturas entre 1350 - 1450°C mediante la adición de aire secundario para asegurar sus completa oxidación.



El proceso térmico se produce en una cámara de residuos sólidos (reactor de fusión), donde se calienta a temperaturas que se encuentran entre los 800 a 1800 ° C, dependiendo de las características de la materia prima.

A diferencia de la incineración, la gasificación es un proceso que ocurre en un ambiente con oxígeno controlado y da lugar a una reacción química diferente⁴. El proceso de gasificación consta de tres etapas básicas: el secado, la pirólisis y la gasificación.

Las principales reacciones del proceso de gasificación son:



Los subproductos del proceso de gasificación son:

- *Gas combustible*, un gas combustible limpio, que puede ser filtrado para eliminar las impurezas, éste gas suele utilizarse para generar electricidad. Parte de este gas también se utiliza para alimentar el proceso térmico.
- *Sólidos (escoria)*, un subproducto que puede incluir también un flujo de líquido, con potencial uso en la industria de la construcción.

En estos procesos, los residuos mezclados son alimentados durante la gasificación o plasma donde tiene lugar la reacción. La materia prima puede mezclarse con materiales combustibles como el coque de petróleo, que sirve para aumentar la temperatura de la cámara de gasificación.

³ Hill A. et al., *Solid waste management alternatives for the city of New York*, Columbia University, Workshop Report, 2005

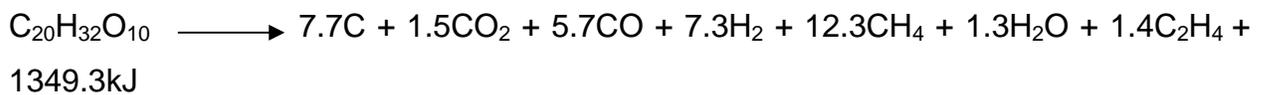
⁵ Gas pobre, el gas combustible o gas pobre es una mezcla de monóxido de Carbono y Nitrógeno. Se obtiene por oxidación parcial de carbón puro utilizando aire seco, tiene una composición de 34,7% CO y 65% N₂.



1.3 Concepto de pirólisis

La pirólisis se define como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno, lo que genera cantidades variables de gases (gas de síntesis), líquidos (alquitranes y aceites) y residuos carbonosos o "Char"⁶. Tal descomposición se produce a través de una serie de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor, el rango de temperatura empleado oscila entre 150 y 900° C.

La principal reacción de pirólisis se muestra en la siguiente ecuación:



La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión. A partir de la pirólisis logran obtenerse productos secundarios como gases combustible, residuos secos de carbón y agua, útiles en función de la tecnología de tratamiento que se utilice.⁷

1.4 Antecedentes Nippon Steel

Como una de las principales empresas industriales, Nippon Steel, es el mayor productor siderúrgico Japonés, ha desempeñado un papel importante para el crecimiento del Japón moderno.

La empresa opera 11 plantas principales de acero, cuenta con 96, 841 empleados, con una producción de cerca de 33 millones de toneladas de acero anual, y vende sus productos en todo el mundo.

⁶ "char" se denomina a un residuo carbonoso que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activo (son productos sólidos de una pirólisis).

⁷ Grasi, G., "Pyrolysis and gasification of biomass", in *Pyrolysis and Gasification*, Conference International, Luxemburgo, p. 7, 1989.



Nippon Steel Corporation, se inició el 1 de abril de 1970, luego de la fusión de dos empresas :Yawata Steel y Fuji Steel, que ocurrió en 1950 en virtud, en virtud de la aparición de la Ley de la eliminación de la concentración excesiva del poder económico en ese país.

En Japón, el progreso económico fue alto después de la segunda guerra mundial, por ejemplo, la industria del acero creció de manera constante. Tras pasar por una serie de dificultades como la crisis del petróleo, los bajos crecimientos económicos, Japón se convirtió en uno de los principales fabricantes de acero del mundo, y todavía lo es.

Como una de las principales industrias en ese país, Nippon Steel Corporation ha desempeñado un papel importante para el crecimiento del Japón moderno. Con el suministro estable de acero ha ayudado a aumentar la competitividad de la industria manufacturera y ha contribuido al crecimiento de la economía japonesa.

Gracias a la utilización de los conocimientos técnicos y de gestión de recursos diversos, cultivados a través de la larga historia de la fabricación de acero, Nippon Steel Corporation , lleva a cabo una amplia gama de actividades: ingeniería de negocios que incluye la planta de fabricación y la construcción de viviendas, desarrollo urbano, servicios de soluciones de sistemas que se espera tenga mucho crecimiento, producción de productos químicos y electricidad, así como también la aplicación de recursos en el reciclaje para frenar el calentamiento global ⁸.

Desde la inauguración de la empresa en 1970, Nippon Steel ha observado el desarrollo del medio ambiente y ha logrado importantes éxitos en el ahorro de energía en los procesos de producción gracias a una eficaz utilización de los subproductos y la reducción de la carga ambiental.

⁸ <http://www.nsc.co.jp>. Consultada el día 15 de Enero del 2008 (página principal de Nippon Steel)



Desde el inicio del siglo XXI, Nippon Steel lleva a cabo sus actividades comerciales con el fin de contribuir a "la estructuración de una sociedad orientada hacia el cuidado y preservación del medio ambiente a escala mundial"⁹

Nippon Steel Engineering Corporation es la división que toma en cuenta las necesidades de mantener un equilibrio entre el hombre y la naturaleza, con el propósito de preservar y mejorar las condiciones de vida del medio ambiente a escala mundial, lo que contribuye a la formación de una sociedad orientada hacia el reciclaje.

Con la reducción del impacto ambiental en todas las etapas de operación, desde la adquisición de materia prima, y los equipos de producción, el transporte, el uso y eliminación de productos, Nippon Steel Engineering Corporation se esfuerza por reducir el impacto ambiental principalmente en cooperación y colaboración con los clientes y otras industrias.

En lo Internacional, contribuye, a promover, como el pilar central de la compañía, las medidas contra el calentamiento global los programas de acción voluntarias para el ahorro de energía en los procesos de producción. Además lleva a cabo diversos proyectos para la reducción de emisiones de CO₂ en los países en desarrollo y en otros lugares, así como la transferencia de tecnología para optimizar las medidas pro ambientales.

Nippon Steel Engineering Corporation responde en forma adecuada a las nuevas reglamentaciones ambientales, gracias a un amplio y enérgico ejercicio de controles voluntarios y de innovaciones en cada fase del proceso de producción, lo cual permite supervisar las emisiones de contaminantes nefastos al ambiente como sustancias químicas especificadas en relación con aire, agua, suelo, etcétera.

En conclusión, de los cerca de 50 millones de toneladas de residuos sólidos municipales por año que Japón genera, cerca del 74% son incinerados para reducir su volumen a un 16% aproximadamente.

⁹ Nippon Steel, *Nippon Steel Environmental Report 2002*, November 2002.



Cabe agregar que alrededor del 15% de los residuos se vierten directamente al ambiente sin ser incinerados, situación que llevó a la conclusión de que faltaban vertederos para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Cuando problemas ambientales como las emisiones de dioxinas se convertían en la principal preocupación, la gasificación y la fusión de los desechos atrajeron la atención de todos, lo cual ocurrió en la década de 1990. A consecuencia de ello, Nippon Steel construyó el primer horno de fusión, en 1979, en la ciudad de Kamaishi.

El proceso de fusión directa de RSM¹⁰ convierte una planta de incineración convencional, con la única función de la reducción del volumen de residuos, en una planta de reciclaje.

Nippon Steel Corporation (industria dedicada a la fusión directa y al sistema de reciclado) es un precursor del concepto de residuos sólidos municipales, para cuya eliminación emplea un horno que sirve para gasificar y fundir los desechos a altas temperaturas, cuya característica principal es la formación de altas temperaturas en la cama de coque en la capa inferior del horno.

1.5 Localización de plantas con tecnología DMS

Como se mencionó, el primer horno construido con la tecnología DMS¹¹ fue inaugurado en 1979¹², fecha a partir de la cual se construyeron nuevas plantas con la tecnología, dando como resultado a través del tiempo la experiencia que fueron adquiriendo para demostrar que es una tecnología probada.

La tabla 3 nos muestra la localización de las plantas, el tipo de residuos que se tratan en los reactores, así como la capacidad de los reactores en toneladas por día y en qué utilizan el calor residual de estos reactores.

¹⁰RSM, residuos sólidos municipales.

¹¹ DMS, Direct Melting System (Sistema de Fusión Directa).

¹²Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.



Con los datos de las tablas construimos tres gráficas, las cuales demuestran la capacidad y la experiencia que adquiere la tecnología de 1979 al 2007 cuando fue construida la última planta. El resultado de las gráficas nos señala que la tecnología puede ser una alternativa viable para el tratamiento de residuos sólidos municipales (RSM), pero también permite saber que es posible la sustitución de las antiguas plantas de incineración.

Tabla No.3. Plantas de tratamiento RSM con tecnología DMS

Localización	Tratamiento de residuos	Capacidad	Año de arranque	Utilización de calor residual
Ciudad de Kamaishi (Iwate)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, CFC gas)	100 t/d (50 t/d x 2 hornos)	Septiembre 1979	Agua caliente de recuperación
Ciudad de Ibaraki (Osaka)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, CFC gas)	450 t/d (150t/d x 3 hornos)	Agosto 1980	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 10,000 Kw)
		300 t/d (150 t/d x 2 hornos)	Abril 1996	
		150 t/d (renovado)	Abril 1999	
Iryu unión de administración de salud (Hyogo)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles)	120 t/d (60 t/d x 2 hornos)	Abril 1997	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,100 Kw)
Instalación oriente de incineración (Kagawa)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, residuos de la incineración)	130 t/d (65 t/d x 2 hornos)	Abril 1997	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,600 Kw +1,100 Kw)
		65 t/d(adicionales)	Abril 2002	
Ciudad de Lizuka (Fukuoka)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos)	180 t/d (90 t/d x 2 hornos)	Abril 1998	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,200 Kw)
Itoshima área de lucha contra incendios & instalaciones de la unión (Fukuoka)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos, residuos de la incineración, CFC gas)	200 t/d (100 t/d x 2 hornos)	Abril 2000	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 3,000 Kw)
Ciudad de Kameyama	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y de los vertederos)	80 t/d (40 t/d x 2 hornos)	Abril 2000	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,250 Kw)
Ciudad de Akita	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos, residuos de la incineración)	400 t/d (200 t/d x 2 hornos)	Abril 2002	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 8,500 Kw)
Ciudad de Niigata (Yoroigata centro limpio)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos, residuos de la incineración, CFC gas)	120 t/d (60 t/d x 2 hornos)	Abril 2002	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,500 Kw)

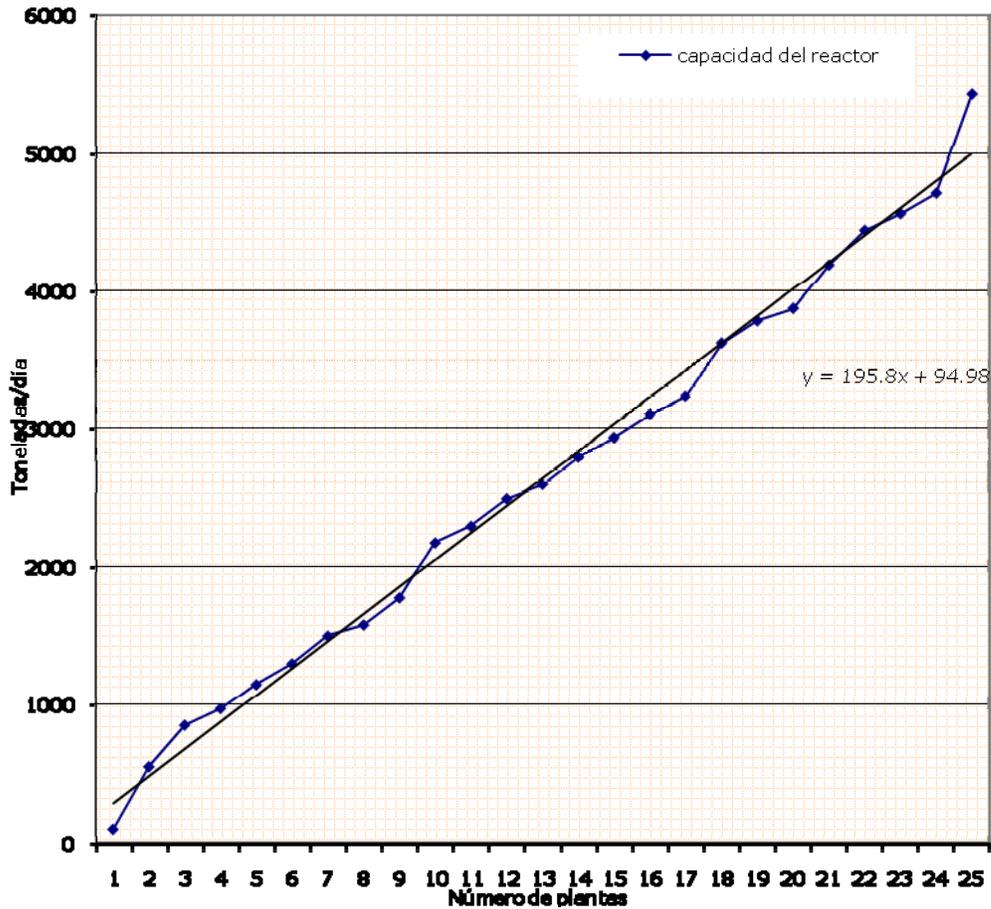
///. Continuación de la tabla No.3 plantas de tratamiento de RSM con tecnología DMS

Localización	Tratamiento de residuos	Capacidad	Año de arranque	Utilización de calor residual
Kazusa sistema limpio Co (Chiba)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, residuos de la incineración y lodos)	200 t/d (100 t/d x 2 hornos)	Abril 2002	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad :3,000 y 5,000 Kw)
		250 t/d (125 t/d x hornos)	Marzo 2006	
Aldea Takizawa (Iwate)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles)	100 t/d (50 t/d x 2 hornos)	Octubre 2002	Caldera de calor residual /generación de energía(capacidad : 1,200 Kw)
Ciudad Narashino (Chibia)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos)	201t/d (67t/d x 3 hornos)	Noviembre 2002	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,400 Kw)
Administrativa región municipal Hata (Kochi)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos)	140 t/d (70 t/d x 2 hornos)	Diciembre 2002	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,800 Kw)
Cuidad Tajimi (Gifu)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos)	170t/d (85 t/d x 2 hornos)	Abril 2003	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,990 Kw)
Toyokawa Hoi (Aichi)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos, residuos de lodos de incineración)	130 t/d (65 t/d x 2 hornos)	Abril 2003	Caldera de calor residual /generación de energía(capacidad : 1,850 Kw)
Ciudad Oita	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles y lodos)	387 t/d (129 t/d x 3 hornos)	Abril 2003	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 9,500 Kw)
Unión ambiental Genkia (planta Munakata) Fukuoka	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos)	160/d (80 t/d x 2 hornos)	Junio 2003	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad 2,400 Kw)
Unión del mantenimiento del medio ambiente (Seinoh) Gifu	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, residuos de la incineración)	90 t/d (90 t/d x 1 hornos)	Abril 2004	Agua caliente de recuperación
Kita- kyush (Fukuoka)	Residuos industriales (incluyendo residuos de la trituración)	320 t/d (160 t/d x 2 hornos)	Marzo2005	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 14,000 kW)
Nagoya (Nippon Steel) (Aichi)	Residuos industriales (residuos de la trituración)	120 t/d (120 t/d x 1 horno)	Febrero 2006	Suministro interno de vapor
Ciudad de Shimada (Shizuoka)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos)	148 t/d (74 t/d x 2 hornos)	Marzo 2006	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 1,990 Kw)
Ciudad Kita-Kyushu (Fukuoka)	Residuos sólidos municipales (incluyendo incombustibles, lodos)	720 t/d (140 t/d x 3 hornos)	Marzo 2007	Caldera de calor residual /generación de energía (capacidad : 23,500 Kw)

Fuente: http://kankyoe.eng.nsc.co.jp/e-shaft_furnace_features.html, consultado el día 15 de Enero de 2008



Gráfica No.1 Capacidad acumulada T/d



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del cálculo de la capacidad y producción acumulada

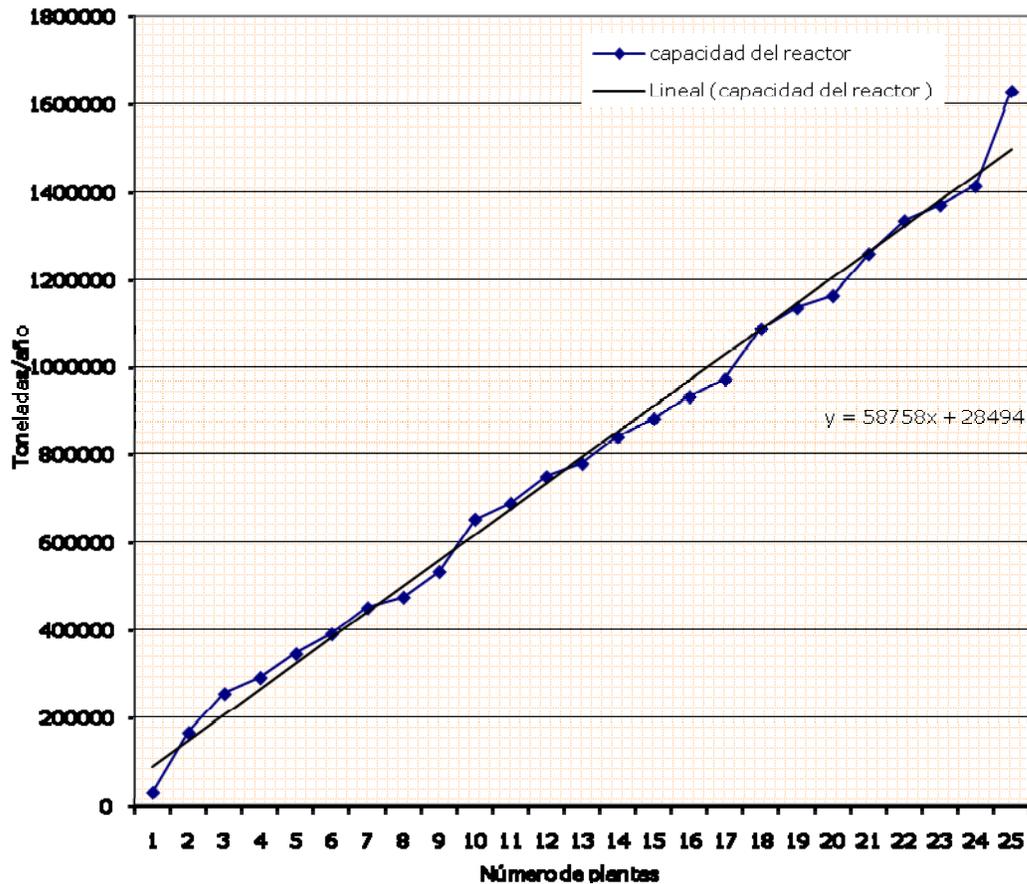
La gráfica 1 nos muestra cómo varía la capacidad en toneladas por día en función del número de plantas construidas, es decir, el tonelaje que se fue acumulando a lo largo del tiempo.

Los puntos en la gráfica son plantas reales, la ecuación de la pendiente nos indica la velocidad promedio con la que crece la capacidad del reactor en toneladas por año.

La gráfica fue desarrollada tomando en cuenta la acumulación de materiales, es decir, al primer reactor, con una capacidad de 100 t/día, se le sumó la segunda capacidad de 450 t/día y así sucesivamente hasta llegar al último, que es una cantidad más grande que la primera, lo cual fue posible gracias a la experiencia que se adquiría conforme se trabajaba con la tecnología de gasificación con pequeñas cantidades.



Gráfica No.2 Producción acumulada en T/año



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del cálculo de la capacidad y producción acumulada

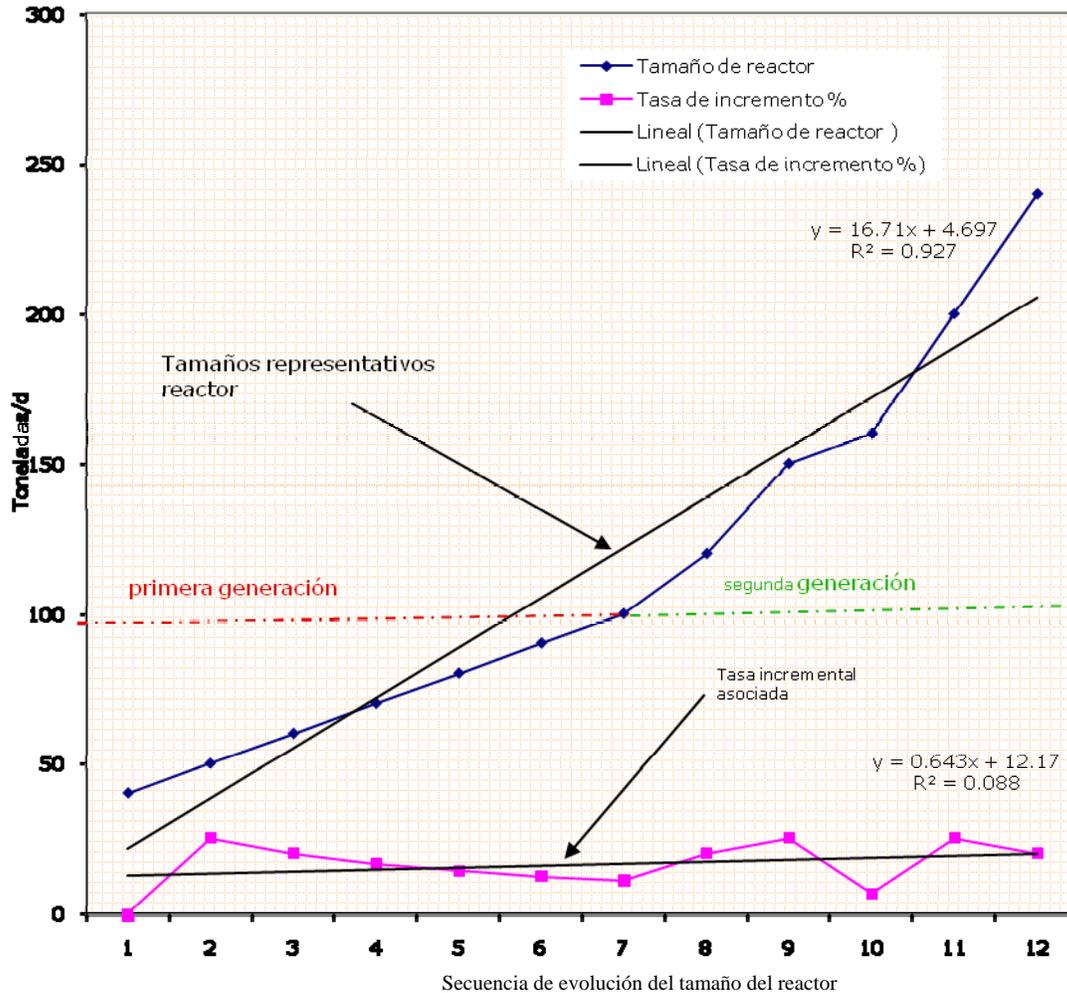
La gráfica 2 nos muestra cómo varía la producción anual en función del número de plantas construidas, es decir, la producción que se fue acumulando a lo largo del tiempo. Se tomó en cuenta que las plantas laboran 300 días, de los cuales 60 son para darle mantenimiento y hacerle tareas de reoperación a la planta.

La gráfica toma en cuenta cuando no está en operación la planta. Los puntos representan las plantas reales, mientras que la ecuación de la recta nos dice la velocidad promedio con la que crece la producción en toneladas por año.

Dicha gráfica fue desarrollada de la misma manera que la anterior, pero ahora considerando la producción. En conclusión, nos demuestra cómo se fue probando la tecnología hasta abarcar mayores cantidades, gracias a la experiencia que se iba adquiriendo.



Gráfica No.3 Tasa Incremental del tamaño del Reactor



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del cálculo de la tasa de incremento asociada

La gráfica 3 contiene datos de las dos gráficas anteriores. Se añadió para comparar el tamaño de reactor contra la tasa de incremento asociada. La línea azul nos indica la capacidad acumulada en toneladas por día en función del tamaño del reactor y la línea rosa muestra el cambio en la tasa incremental del tamaño de reactor en función del tipo de reactor construido. Las tres gráficas se utilizan para responder la pregunta: ¿La tecnología en cuestión está probada? La respuesta es sí, ya que es consecuencia de una experiencia a nivel industrial, pues demuestran que primero se probó con reactores pequeños (plantas de primera generación) para después dar un salto y trabajar con reactores grandes (plantas de segunda generación), para así sustentar que la fusión directa y el reciclado son la solución al tratamiento de RSM.



1.6 Conclusión del capítulo

En el capítulo observamos el desarrollo histórico de *Nippon Steel* y la división de *Steel Engineering Corporation*, la encargada de mantener un equilibrio entre el hombre y la naturaleza, con el propósito de preservar y mejorar las condiciones ambientales a escala mundial, contribuye a la formación de una sociedad orientada hacia el reciclaje.

Como su principal objetivo es la reducción del impacto ambiental negativo en todas las etapas de operación, desde la adquisición de materia prima y los equipos de producción hasta el transporte, el uso y la eliminación de productos, *Nippon Steel Engineering Corporation* se esfuerza por reducir el impacto ambiental de los desechos que ocasiona su producción principalmente en el desarrollo de su tecnología.

DMS es una de las tecnologías alternativas para el manejo de los residuos sólidos municipales, la cual ofrece prometedoras ventajas; ya que es una tecnología que cuenta con experiencia a nivel industrial y sustenta que la fusión directa y el reciclado son la solución al tratamiento de los residuos sólidos municipales en todo el mundo.



Capítulo 2

Análisis del proceso



El propósito de este capítulo es describir el proceso e identificar las áreas de innovación del proceso de tratamiento de RSM, en la cual la tecnología DMS se ha desarrollado, es decir, las áreas en las cuales han surgido cambios para la mejora del proceso a través del tiempo, estas innovaciones prueban la experiencia que han obtenido desde la primera planta construida hasta la de hoy en día.

2.1 Principales tipos de reactores

Existen varios tipos de reactores para llevar a cabo el proceso de gasificación, el tipo de reactores que normalmente se utilizan para este proceso de gasificación y posteriormente para su elección depende de varios factores como la granulometría del residuo, la humedad de este, o la limpieza del gas requerido, de manera general explicaremos su funcionamiento.

2.1.1 Reactores de lecho móvil en contracorriente ó *updraft*

En el gasificador *updraft*, los sólidos y el gas se mueven en sentido contrario, normalmente el sólido de forma descendente y el gas de manera ascendente. Una partícula se encuentra primero con gases calientes procedentes de la zona inferior, lo que aumenta su temperatura a medida que desciende en el lecho a costa del calor sensible de los gases ascendentes. Inicialmente la partícula se seca y a determinada temperatura comienzan los procesos de pirólisis generando gases que suben a la salida del reactor, estos gases también aparecen mezclados con el gas alquitrán y vapores condensables que salen del gasificador sin craquear o quema. Continuando en sentido descendente, la partícula, que ya es "Char", se encuentra con los gases de combustión y el oxígeno que son necesarios para mantener térmicamente el proceso. Tiene lugar entonces la reacción de oxidación y reducción entre el sólido y la mezcla gaseosa presente, con lo que el gas producido en esta zona se mezcla con él, generado en la pirólisis, mismo que sale del gasificador. Los reactores de lecho móvil se alimenta con combustible sólido en tozos, los cuales tienen un tamaño de 1 a 10 cm, el reactor de lecho móvil en contracorriente es el más simple.



El gas de proceso resultante tiene un alto porcentaje de alquitranes y una temperatura de unos 400 °C, que se pueden utilizar para calefacción.

2.1.2 Reactor de lecho móvil en corrientes paralelas ó “*downdraft*”

En el gasificador de lecho móvil en corrientes paralelas sólido y gas, se mueven en el mismo sentido, normalmente hacia abajo, de ahí el nombre de *downdraft*.

Una partícula que entra al gasificador por la parte superior sufre sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al someterse a un progresivo aumento de temperatura en su camino descendente. Este perfil de temperatura es debido fundamentalmente a la conducción de calor o radiación a temperaturas altas, desde la parte inferior, en la que se está generando mediante la combustión parcial de los productos que allí llegan. Los gases descienden hasta la zona de oxidación donde, con el oxígeno introducido, se proporciona la energía necesaria para mantener térmicamente el proceso. Esto quiere decir que así como se provoca el perfil de temperaturas de la parte superior del reactor, y aumenta el calor sensible, la temperatura de los productos continúa descendiendo y los productos siguen reaccionando entre sí, lo que da como resultado una disminución de la temperatura, y un incremento de la cantidad y calidad del gas producido.

La principal característica de este tipo de reactor es que todos los productos procedentes de la zona de pirólisis son forzados a pasar por la zona de oxidación. De esta forma los alquitranes pasan a hidrocarburos ligeros y a gases de peso molecular bajo, como son el CO y el metano. El gas obtenido sale del gasificador a unos 700 ° C y contiene alrededor de 1 g/m³ de alquitranes. Aunque siempre es necesario un sistema de limpieza, es muy interesante su uso en motores de combustión interna. La principal desventaja de este reactor frente al gasificador en contracorriente es la alta temperatura del gas de salida y la presencia de cenizas, lo que origina una eficiencia más baja del proceso.



2.1.3 Reactor de lecho fluidizado

Se trata de un tipo de gasificador en el que el sólido es mantenido en suspensión mediante el gas.

En general, no podemos distinguir las zonas en las que se lleven a cabo los distintos procesos de secado, pirólisis, etc. Cada partícula es sometida de forma consecutiva y simultánea a estos procesos en cualquier punto del gasificador tras su entrada en él, siendo finalmente las cenizas por el gas emergente.

Estas características de elevada velocidad de reacción y excelente mezcla, hacen que los perfiles de temperatura y conversión sean uniformes a lo largo del reactor, permitiendo un control muy preciso de las condiciones de operación. Ésta es también la causa de la alta capacidad específica (Kg de sólido/ m³ de reactor) frente a otros tipos de reactores, por lo que, para unidades de gran tamaño (más de 100 Mw) resultan más interesantes. La operación con estas unidades a presión, también ayuda a disminuir el tamaño del reactor. Por todo esto son los favoritos para su utilización en ciclos termodinámicos avanzados. Su principal desventaja es la alta concentración de partículas sólidas emitidas en el gas de salida, lo que complica las subsecuentes etapas de depuración y acondicionamiento de los gases.

Los gasificadores de lecho fluidizado se pueden clasificar atendiendo a la variable de operación, velocidad de fluidización, en: lecho fluidizado burbujeante (velocidad de fluidización en el rango de 1-2 m/s) y lecho fluidizado circulante (velocidad de fluidización mayor de 5 m/s).

2.1.4 Reactor de flujo removido

Este tipo de gasificador se caracteriza porque el combustible sólido, finamente dividido (<0.1 mm), reacciona con vapor y oxígeno en una zona de alta temperatura que va de 1.500 a 2.000 °C y con una presión de 30 bar, y con gran turbulencia, donde se produce una intensa mezcla del combustible con los agentes gasificantes. En estas condiciones las cenizas fundidas del combustible fluyen en forma de lava por la parte



inferior del gasificador, antes de solidificarse por enfriamiento, y el gas abandona el reactor por la parte superior.

En este tipo de gasificador no se forman alquitranes condensables, aceites o soluciones fenólicas, el poder calorífico del gas producido es elevado en comparación con los obtenidos de otros gasificadores donde el fluido tiene un poder calorífico inferior a la mitad de éste. Así, se alcanza una conversión de carbono muy alta y por tanto un alto rendimiento en la transformación del carbón.

Cabe mencionar que la tecnología de fusión directa (DMS) utiliza un reactor de lecho fijo, que consiste en uno o más tubos empacados con partículas de catalizador, que operan en posición vertical. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma granulares, cilíndricas, esféricas, etc. En este tipo de reactor los gases pasan relativamente lento ascendiendo a través de la cama de alimentación de carbón (lecho fijo).

Se pueden utilizar los métodos de contra corriente o corriente directa. Este tipo de reactor puede usar tanto aire como oxígeno y vapor de agua, que son introducidos por la parte inferior en contracorriente con los desechos sólido que se alimentan por la parte superior del gasificador (puerto de carga). La extracción de la ceniza suele hacerse por la parte inferior del lecho.

2.2 Descripción del proceso

La planta de tratamiento RSM ¹ en la ciudad de Kamaishi, tiene dos hornos de fusión con una capacidad nominal de 50 t / d cada uno. El proceso DMS consiste fundamentalmente en:

La recepción de los RSM en la plataforma del vertedero, éstos son sustraídos mediante la grúa de residuos para ser llevados a la tolva de alimentación del horno de fusión de 50 t/d, donde también se incorpora simultáneamente coque y piedra caliza, el

¹ RMS, Residuos Sólidos Municipales



equipo de suministros de residuos se construyó con doble sello en la válvula, de gas diseñado para aislar completamente la atmósfera del horno del aire exterior. Cuando la señal del medidor de nivel de carga instalada en el horno indica que el nivel de carga ha bajado al grado especificado, el material fundido se descarga a través de un orificio por la parte inferior del horno y es enfriado rápidamente en el tanque de agua de granulación. Los gránulos son apartados mediante separación magnética en escoria y en metal para ser vendidos. Los gases generados por la descomposición térmica son liberados por la parte superior del horno para ser quemados completamente por la cámara de combustión. El calor de combustión de los residuos de gas es recuperado por el generador de agua caliente, y enfriado por gas refrigerante, después es pasado por un precipitador electrostático.

La recolección de polvo de ceniza de la cámara de combustión, del enfriador de gas y del precipitador electrostático son tratadas mediante la adición de un reactivo para hacerlas no contaminantes.

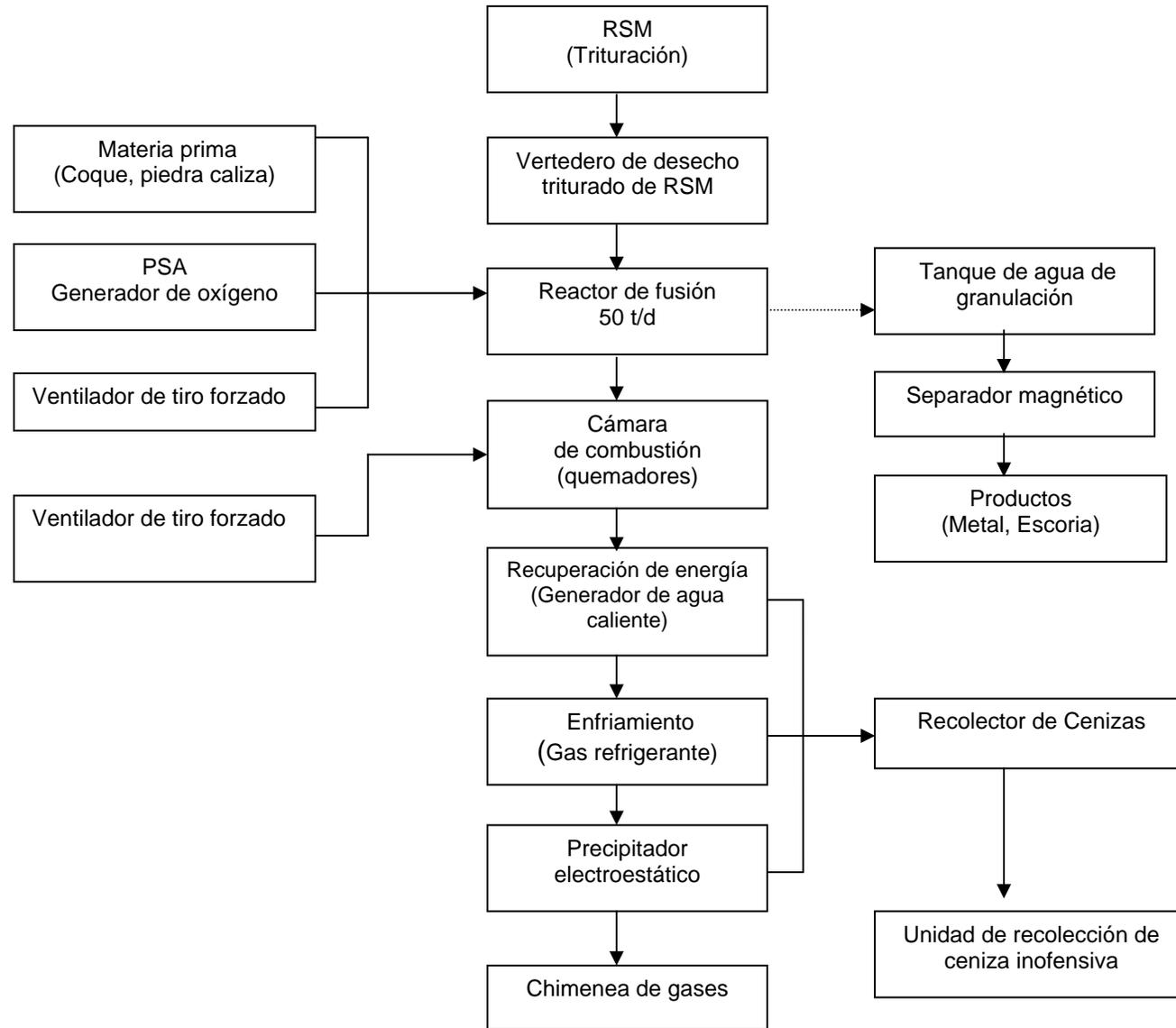
Un ventilador de tiro forzado se utiliza para soplar aire en el horno. La PSA² alimenta aire enriquecido con oxígeno que se suministra a través de la fila superior de tuyeres³ En la figura 2.1 muestra el diagrama. de bloques de primera generación de la planta de tratamiento RSM con la tecnología DMS⁴. durante el año 1979.

² PSA , Pressure Swing Adsorption (planta de generación de oxígeno)

³ Tuyeres, tubería de distribución de aire o polvo combustible

⁴ Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.

Figura No.2.1 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento RSM con la tecnología DMS de primera generación.



Fuentes: elaborado a partir de: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.

2.3 Descripción del las etapas del proceso de tratamiento de RSM

Para hacer el estudio de la planta de proceso de tratamiento de RSM se ha dividido en tres etapas principales que son:

1. Etapa de reacción
2. Etapa de recuperación de energía
3. Etapa de separación y tratamiento de las gases a la atmósfera

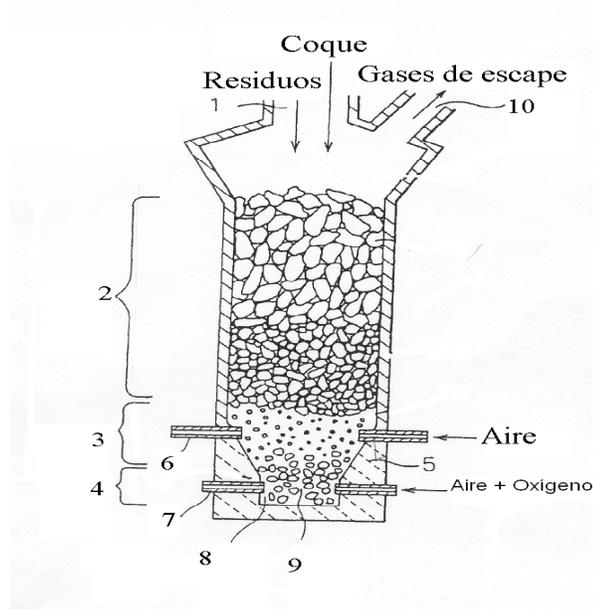
En la figura 2.3 muestra el diagrama de bloques de la tecnología DMS⁵ separado por estas etapas.

2.3.1 Etapa de reacción

Esta etapa consiste en un reactor de fusión y una cámara de combustión como equipos principales donde se llevan a cabo los tratamiento de los residuos y la quema de los gases de escape.

La figura 2.2 ilustra el reactor de fusión, en la cual nos muestra las principales zonas donde se lleva a cabo el precalentamiento, la gasificación, la combustión y la fusión.

Figura No.2.2 Reactor de fusión de 50 toneladas de ladrillo refractario



Fuentes: Ishida et al., U.S. patent application ser No. 6,189,462B1, "Burning / Melting method of waste melting furnace" (Febrero 2001)

⁵ (Direct Meeting System), Sistema de Fusión Directa



Los residuos combustibles e incombustibles y el coque se cargan en la sección de entrada (el puerto de carga) [1], en esta zona se realiza el precalentamiento [2], a una temperatura aproximada de 300° C para eliminar el agua de los residuos, sucesivamente, derretidos por la acción del gas de reacción (descomposición térmica del gas) [3], zona donde se efectúa la gasificación a un rango de temperatura de 300-1000 ° C, en la parte inferior de la descomposición térmica existe una gran cantidad de partículas de carbón a medio quemar (carbonilla) [5], zona donde se lleva a cabo la combustión en un rango de temperaturas de 1000-1700 ° C, la quema de carbonilla se lleva a cabo por alimentación de aire en los tuyeres [6] a condiciones de 130 m³ por una tonelada alimentada de residuo, en la parte inferior del horno se encuentra la zona de fusión [4] en un rango de temperaturas 1700-1800 ° C, la quema de combustible y la fusión de los residuos de sustancia incombustibles se lleva a efecto por la alimentación de aire + oxígeno en los tuyeres [7], los gases de escape producidos por la descomposición térmica y la fusión se elevan hacia la parte superior para ser transferidos a la tubería de gases de escape (ducto) [10].

Los residuos generados en una ciudad, contiene una cantidad de combustible compuesta por: caucho en 26.6%, basura en 47.4%, plásticos 8.0%, y los incombustible en un 18.0%, en este caso el contenido de agua en ellos es de 40 a 60% es necesario eliminar el agua de los mismos, si éstos no están lo suficientemente secos, cuando entran a la zona de quema y de fusión, la temperatura en estas zonas se reduce notablemente, en consecuencia es necesario proporcionar una gran cantidad de calor para secar los residuos cargados en el reactor y ser derretidos a fin de que se produzcan las reacciones pirogénicas con el consiguiente uso de energía externa.

Como se describió antes, con el fin de quemar los residuos que contienen una cantidad considerable de sustancias combustibles es necesario alimentar con un gas, que contiene oxígeno en una alta concentración. El aire que se alimenta al reactor se divide en dos partes: una porción de aire se alimenta a la zona de combustión por los tuyeres⁶ [6], y la otra porción de aire enriquecido con oxígeno se alimenta a la etapa de

⁶ tuyeres; tuberías de distribución



fusión por los tuyeres que se encuentra en la parte más baja del reactor [7], la concentración de oxígeno es de 30 a 40 %.

Cuando el aire enriquecido entra por los tuyeres [7], en una relación de 600 m³ por una tonelada alimentada de residuos, la cantidad de coque que se utiliza en el reactor se reduce de 20 por cada 100 Kg. a una tonelada de residuo.

La quema de combustibles y la fusión de los residuos crean el aumento de los gases de escape hacia la parte superior del reactor de fusión , estos gases salen a en un rango de temperaturas de 150-700 ° C , esta temperatura es controlada cuando los gases de escape pasan por la zona de secado ajustando la capa empacada⁷, la temperatura es medida con los múltiples termómetros colocados en todo el reactor. Cuando la temperatura de los gases de escape es inferior a los 150 ° C , la descomposición térmica se realiza a temperaturas bajas incrementando el contenido de alquitrán en el gas de escape, la concentración de alquitrán generado como resultado de ello hace que la permeabilidad del gas en la zona de secado se deteriore haciendo difícil el funcionamiento del reactor.

Para el caso que la temperatura de los gases de escape sea superior a 700 ° C , hay formación de cloro el cual se neutraliza, los gases de escape se transforman en cloruro de hidrógeno gaseoso de acuerdo a la reacción química :



Dado que el cloruro de hidrógeno se produce como se ha descrito en la reacción, éste provoca la corrosión en la parte superior del reactor de fusión y en el conducto de los gases de escape, con el fin de evitar la corrosión, es necesario el diseño de un reactor de fusión con una resistencia a ésta.

Además, los compuestos químicos de bajo punto de fusión contenidos en los gases de escape se adhieren a la parte superior del reactor y al ducto de salida de los gases, por lo tanto hace difícil el funcionamiento de este durante un largo periodo de tiempo.

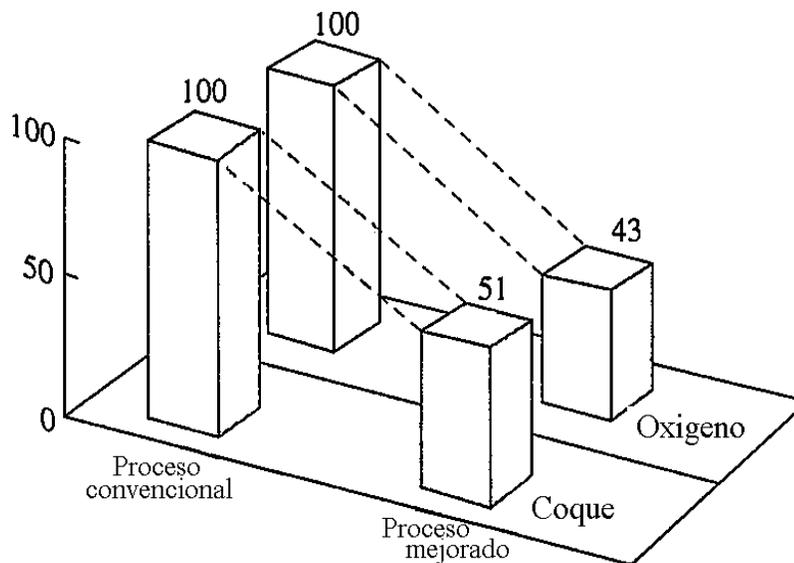
⁷ Capas empacadas, contiene desechos sólidos + el coque alimentado + partículas de carbón a medio quemar



2.3.1.1 Plantas PSA de gas oxígeno.

El proceso convencional para el tratamiento de RSM era la alimentación de coque mas aire, para la mejora del método se implemento la alimentación de aire enriquecido con oxígeno , con el fin de reducir el consumo de materias auxiliares, este efecto se ve en la figura No.2.3 Para excluir el resultado de diferencia en la calidad de los residuos entre los mejorados y los procesos convencionales, la velocidad de avance de coque (Kg/h) y la velocidad de avance de oxígeno PSA⁸ (m³/ h) por unidad de carbono (Kg/h) suministrado de los desechos, se trazan a lo largo del eje vertical, contra 100 para la relación con el proceso convencional.

Figura No. 2.3 Efecto de la mejora en el reactor de fusión para reducir el consumo de materias primas auxiliares.



Velocidad de alimentacion de coque (Kg/h) v velocidad de alimentacion de oxigeno (m3/h).

Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996

⁸ PSA; planta de generación de oxígeno



Donde la mejora del proceso de coque y la planta PSA registraron un índice de consumo de oxígeno del 51 % y el 43 % respectivamente⁹, leyendo un ahorro importante de estos insumos.

Como ya se mencionó anteriormente, en la zona de combustión (parte superior) se alimenta aire mediante un ventilador de tiro forzado, y en la zona de fusión (parte inferior) se suministra aire enriquecido con oxígeno mediante una PSA, el total de oxígeno alimentado tanto en la etapa superior e inferior por los tuyeros es de 130 a 600 m³ por cada tonelada de residuo.

Presión Swing Adsorción (PSA) es una tecnología que se emplea para separar alguna especie de gas a partir de una mezcla de gases a presión de acuerdo a la especie y las características moleculares de afinidad por un material adsorbente, por ejemplo zeolitas tamiz molecular, que adsorbe selectivamente nitrógeno, el dióxido de carbono, y humedad del gas.

El proceso de tratamiento de RSM¹⁰ utiliza entonces una planta de producción de gas oxígeno, que es co-producido, con nitrógeno, argón y otros gases raros colectivamente, las plantas de oxígeno pueden ser descritas como altamente económicas, el sistema ofrece un suministro continuo de oxígeno por el cambio automático de las torres en un tiempo de ciclo. Estos sistemas de PSA suelen funcionar a velocidades lentas de ciclo de 0.05-0.5 ciclos / minuto¹¹.

2.3.1.2 Cámara de combustión

La cámara de combustión es el elemento dentro del cual una mezcla de combustible y aire a alta presión se queman, los gases liberados del reactor de fusión CO, CO₂, O₂, H₂, CH₄, entran a la cámara para dar inicio a la combustión, la cual es una reacción química en la que los gases de escape se combinan con el oxígeno en forma de O₂ gaseoso, desprendiendo calor y produciendo un óxido, la quema de los gases es una reacción exotérmica debido a que su descomposición en los elementos, libera energía

⁹ Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996

¹⁰ Residuos Sólidos Municipales

¹¹ <http://www.gas-plants.com/pressure-swing-adsorption.html>. Consultada el día 24 de Marzo de 2008



térmica (calor al quemar) y energía luminosa (luz al arder), los productos de la reacción de combustión son:

CO, CO₂, O₂, NO_x, éstos pasan a la turbina con una temperatura uniforme para la generación de energía, por la parte inferior de la cámara de combustión son liberadas las ceniza y el agua.

2.3.2 Etapa de recuperación de energía.

Los gases calientes que salen de la cámara de combustión CO, CO₂, O, NO_x contiene un poder calorífico medio¹², los gases no necesitan tratamiento previo ya que son oxidados en la combustión, los gases entran a la caldera para calentar el agua que pasa por el serpentín y generan vapor a una temperatura de 520 ° C, el vapor se utiliza para alimentar una turbina de vapor que acoplada a un generador produce energía, el calor desechado por la turbina es reutilizado.

2.3.3 Etapa de separación.

El enfriamiento de los gases se da por medio de una cámara que contiene un gas refrigerante, éste circula por las tuberías que recorren todo el sistema, las propiedades del gas hacen posible el intercambio de temperatura, o lo que es lo mismo, la refrigeración.

Los gases refrigerantes se clasifican de forma muy general en los tipos siguientes: Derivados, halogenados, saturados. Proceden del metano, etano y propano por sustitución parcial o total de los átomos de hidrógeno por átomos de Cl, F. Pueden ser del tipo:

a) Clorofluorocarbonados (CFC). Contienen Cl, F y C en su molécula. Estos refrigerantes dejaron de utilizarse a finales de 1994.

¹² Se llama poder calorífico al calor que se libera en el proceso de combustión de un cuerpo, llamado combustible. El poder calorífico se mide como la cantidad de calorías o kilocalorías que se desprenden en la combustión de 1 kg de masa del material combustible



- b) Hidroclorofluorocarbonados (HCFC). Contienen H, Cl, F y C en su molécula. Dejarán de producirse en Europa a finales del 2014.
- c) Hidrofluorocarbonados (HFC). Contienen H, F y C en su molécula. Son compuestos que no perjudican la capa de ozono; poseen un Potencial de Agotamiento de Ozono nulo (ODP, por sus siglas en inglés).
- d) Perfluorocarbonados (PFC). Sólo contienen F y C. El prefijo "per" hace referencia a que el compuesto tiene el máximo número posible de átomos de flúor. Son compuestos que no perjudican la capa de ozono, poseen un ODP nulo.
- e) Halones. Contienen H, Br, F y C en su molécula. Se denominan hidrobromofluorocarbonados.
- f) Derivados halogenados insaturados. Proceden de hidrocarburos insaturados por sustitución parcial o total de los átomos de hidrógeno por átomos de F, Cl o Br.
- g) Mezclas azeotrópicas. Existen unas mezclas que funcionan como sustancias puras y tienen un punto de ebullición constante. Entre este tipo de refrigerante se menciona por ejemplo el R-500, R-503 y R-502.
- h) Mezclas Geotrópicas. Las mezclas se caracterizan por no tener constante la temperatura de ebullición a una presión determinada. Durante el cambio de estado la temperatura no permanece constante, aumentando en la vaporización y disminuyendo en la condensación. La diferencia de temperaturas entre la final y la inicial recibe el nombre de deslizamiento y es un factor fundamental en la evaluación de estas mezclas. Interesa un deslizamiento corto. Si el deslizamiento es menor de 1 °C la mezcla zeotrópica puede considerarse casi zeotrópica. Las combinaciones zeotrópicas que se consideran actualmente son el R-407a, el R-407b, el R-407c.
- i) Hidrocarburos saturados. Algunos hidrocarburos saturados pueden utilizarse directamente como refrigerantes, otros forman parte de mezclas que se han propuesto como sustitutos de los CFC y HCFC. Por ejemplo el R-600, butano, es un componente minoritario del R-416a.
- j) Hidrocarburos insaturados. Al igual que en los hidrocarburos saturados, algunos hidrocarburos insaturados pueden también utilizarse como refrigerantes o formar parte



de mezclas propuestas como sustitutos de los CFC y HCFC. Se menciona por ejemplo el R-1270, o propileno, que es un componente minoritario de R-416a.

k) Compuestos orgánicos no alquílicos. Entre ellos están el éter etílico, la metil amina, el éter metílico y algunos más que deben mencionarse debido a su utilización pionera, más que a su utilización actual puesto que son inflamables y tóxicos.

l) Compuestos inorgánicos. Incluye gases simples como O_2 , N_2 y otros, al igual que compuestos inorgánicos como H_2O , NH_3 , CO_2 y otros.

2.3.3.1 Precipitador electrostático.

Los gases pasan por el precipitador electrostático, ya que estos contienen partículas que necesitan ser filtradas, para la filtración de partículas se utilizan fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. Todo precipitador está constituido de un electrodo emisor y un electrodo o placa recolectora.

La forma en que se disponen dichos electrodos y el método para limpiar los colectores (golpes o agua), marcan la diferencia entre los distintos tipos de precipitadores.

El precipitador electrostático con mayor utilidad es el de placa-alambre. El campo eléctrico que fuerza a las partículas cargadas hacia las paredes proviene de los electrodos emisores que se mantienen a un alto voltaje entre 40kV a 200kV. A las partículas se les da una carga eléctrica obligándolas a que pasen a través de un fuerte campo eléctrico, una región donde fluyen iones gaseosos. Esto produce un gran número de iones de gas. Los iones positivos son atraídos inmediatamente hacia los electrodos de emisión, mientras que los iones negativos se desplazan hacia las placas colectoras. Algunos de los iones en movimiento, se adhieren a las partículas suspendidas en el gas entre los electrodos. Las partículas de polvo se cargan mediante el bombardeo de los iones que se están desplazando por la influencia del campo eléctrico, o por medio de la difusión de los iones, produciéndose simultáneamente ambos tipos de carga.



El tamaño de las partículas determina el tipo de carga predominante. La difusión de iones es el mecanismo más importante para las partículas inferiores a una micra.

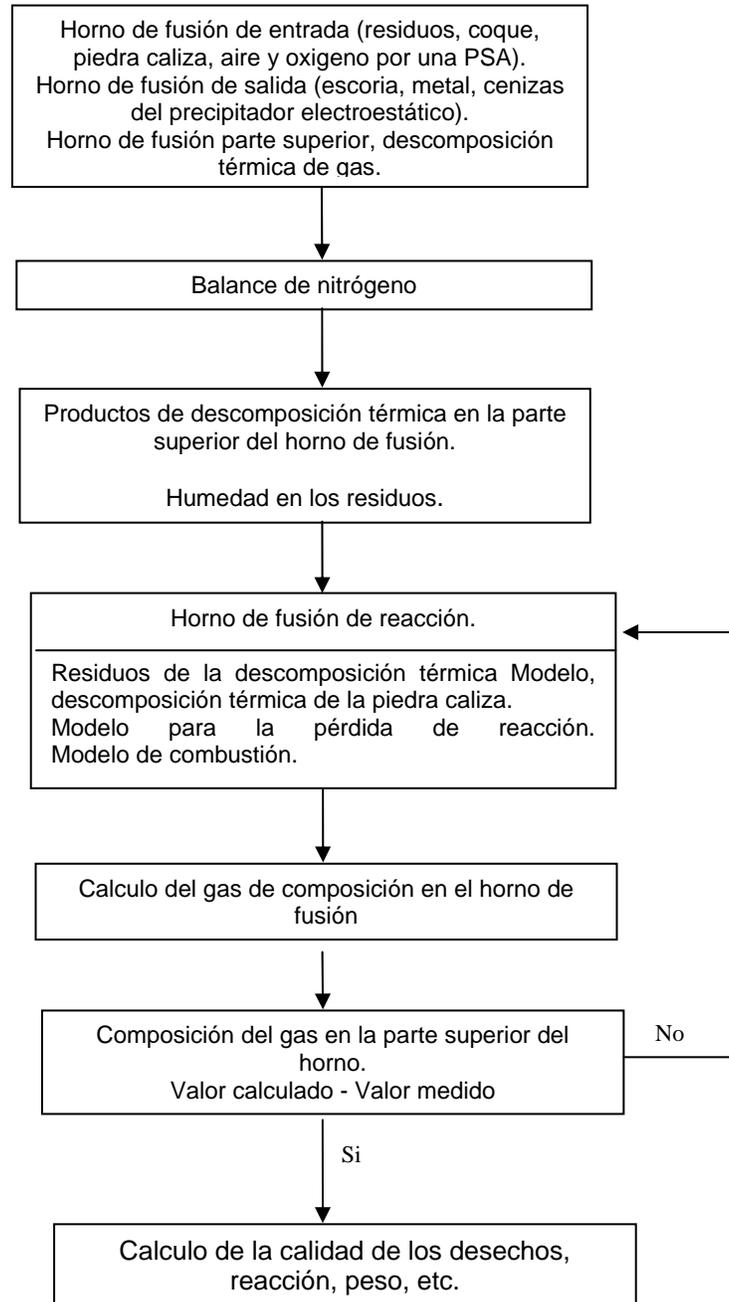
Luego las partículas con carga negativa se desplazan hacia las placas colectoras, a las cuales se adhieren mientras se descargan. Estas partículas se acumulan y forman una capa de polvo en la superficie de la placa, que se elimina mediante vibraciones o lavado dependiendo del tipo de precipitador electrostático. En el proceso, las partículas desprendidas caen por gravedad hacia el fondo del filtro, depositándose finalmente en la base de la tolva, desde donde el polvo se extrae por un aparato de transporte mecánico. Por ejemplo, una cinta transportadora o por un sistema neumático. La recolección de polvo de ceniza se hace a la salida del enfriador y del precipitador electrostático donde las cenizas no contaminan, por el tratamiento mediante la adición de un reactivo.

2.4 Modelo para el cálculo del balance de masa.

Para cuantificar el incremento de la cantidad de calor generado por la combustión de residuos en el horno de fusión, el comportamiento del sistema de carbono que rige la generación de calor en el horno de fusión, más específicamente, la forma de cómo sustituir el carbón consumido en la forma de reacción. El análisis se realizó utilizando el modelo de balance de masa se muestra en la figura 2.4



Figura No 2.4 Modelo para el cálculo del balance de masa en el reactor de fusión

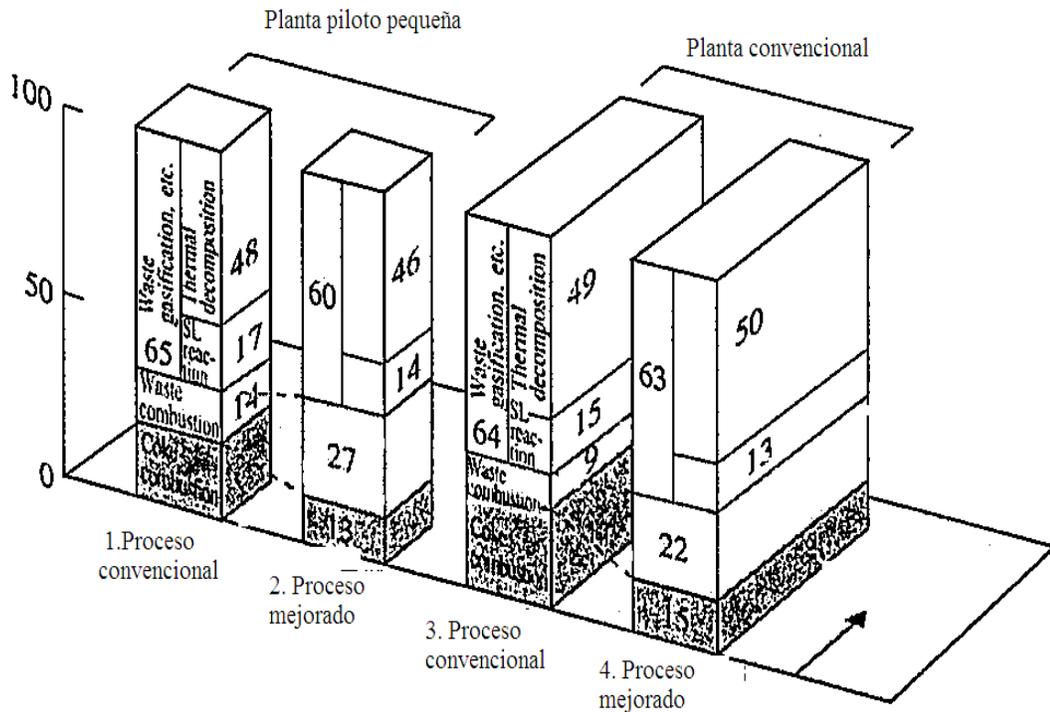


Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.



2.5 Consumo de carbón

Figura No.2.5 Formas en que el carbón es consumido en el horno de fusión



Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.

El eje vertical indica los valores en relación con el contenido de carbón total de 100. La cantidad total de carbón suministrado al horno de fusión consiste en carbón de coque y carbón de residuos. El carbón suministrado por los residuos se subdivide en una primera fracción, contribuyendo a la reacción de combustión (combustión de residuos en la Figura 2.5), una segunda fracción contribuye a la descomposición térmica de reacción (descomposición térmica en la Figura 2.5), y una tercera fracción contribuye a la solución de pérdida de reacción (SL reacción en la figura 2.5).



Las proporciones de estas tres fracciones fueron estimadas por el modelo que se muestran en la figura 2.4 Modelo para el cálculo del balance de masa en el reactor de fusión (Pg.46)

2.6 Tratamiento de los gases a la atmósfera.

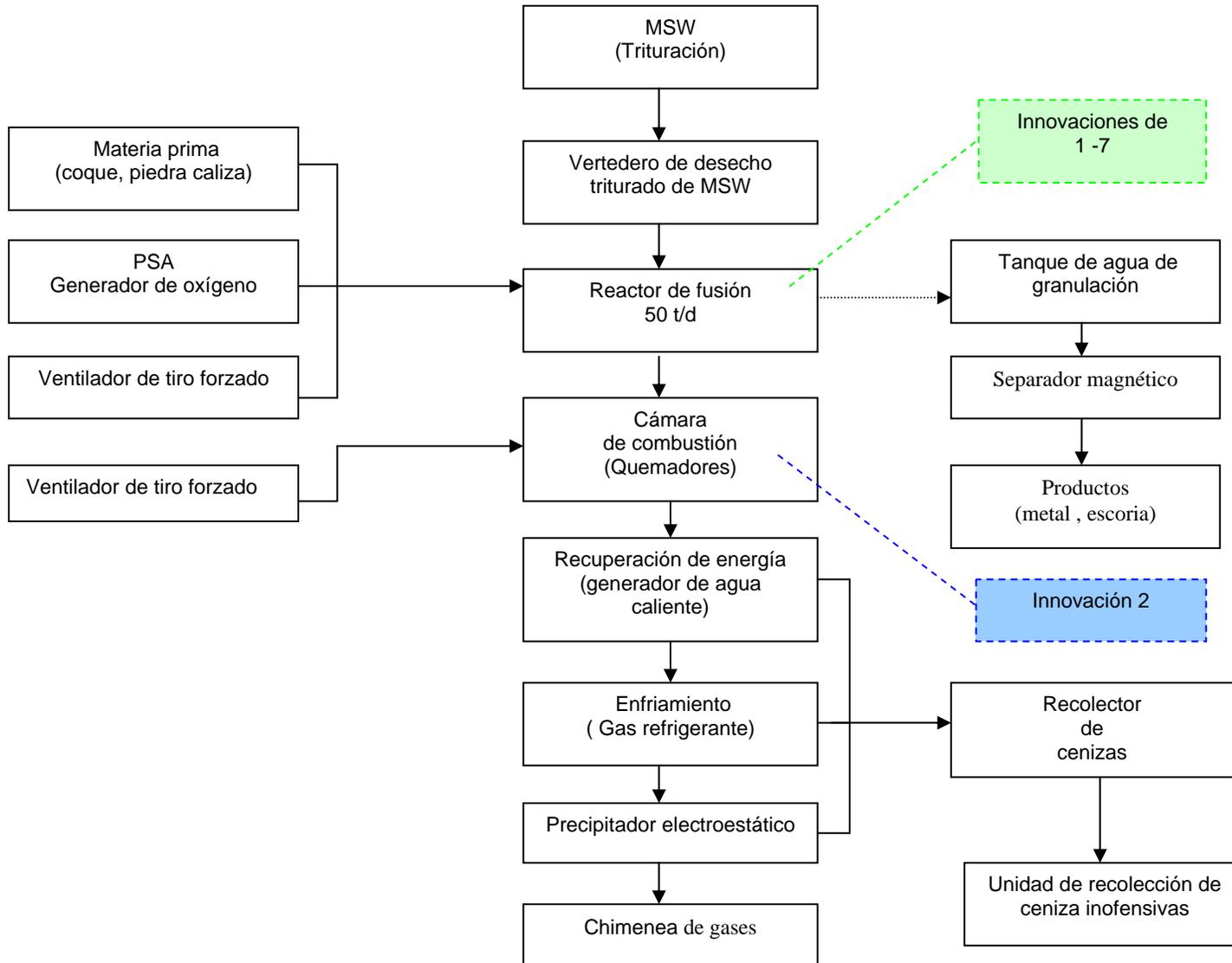
Con objeto de evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, es necesario dar a éstos un tratamiento mediante el uso de equipos de control, para eliminar el material particulado y los gases nocivos (SO_x, NO_x, etc.). Este objetivo se puede conseguir mediante el uso de equipos lavadores de gases, filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones, como se utiliza en este proceso. Un ventilador de tiro forzado sopla los gases ya limpios de partículas sólidas hacia un reactor catalítico para pasarlos después a la chimenea de gases. Los gases que salen de la chimenea se muestran en la siguiente tabla:

Tabla No.2.1 Gases desechados a la atmósfera por la chimenea

Gases de salida
CO
CO ₂
O ²
NO _x
Dioxinas y Furanos
Furanos
Materiales pesados

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la corriente de salida total en el proceso

Figura No.2.6 Diagrama de bloques de innovaciones del proceso de tratamiento RSM con la tecnología DMS



Fuente: elaborado a partir de: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.



2.7 Evolución tecnológica.

Para la mejora del proceso, se han desarrollado innovaciones en los equipos principales, es decir, en el reactor de fusión, en la cámara de combustión, en la planta de oxígeno, para dar inicio a la segunda generación de plantas.

Además de estos, en vista de la creciente necesidad de prevenir el calentamiento global y la reducción de los costos de operación, la empresa ha reforzado las funciones del proceso de fusión directa a través de ciertas medidas como nuevas tecnologías en el proceso. En este apartado se centran, la tecnología de inyección de combustible a través de tuyeres, la diversificación de los tipos de desechos en el proceso, tamaño y expansión.

La figura 2.6 (Pg. 44), nos muestra el diagrama de bloques de primera generación con innovaciones del proceso de tratamiento RSM con tecnología DMS.

Las innovaciones señaladas en el diagrama dan paso al proceso de segunda generación, para ello se utilizó la tecnología de inyección de polvo combustible que será descrita a continuación.

2.8 Innovaciones del proceso de tratamiento RSM con tecnología DMS.

2.8.1 Innovaciones en el reactor de fusión

1. Inyección o soplado de polvo combustible.

Con el fin de mejorar el rendimiento de los hornos de fusión directa de los residuos sólidos municipales, se ha desarrollado una nueva tecnología para la inyección de combustible a través de tuyeres¹³.

Nippon Steel ha estudiado las medidas para reducir el consumo de coque sin dejar de mantener las ventajas del coque en el proceso, y centró su atención en la inyección de un multi-nivel de aire soplado. Este método usa tuyeres dispuestos en dos o más niveles de altura en el reactor de fusión, y tiene por objeto acelerar la marcha de los

¹³ *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.



hornos de combustión de carbón en residuos para utilizar el calor de combustión en el secado y gasificar desechos como un sustituto parcial del coque.

Debido a que la cantidad de carbono en el coque es insuficiente, se pensó que sería necesario proporcionar una fuente adicional de carbono, un combustible inyectado por la parte inferior del horno, a fin de disminuir aún más el consumo de coque, y se inició el desarrollo de una tecnología de inyección de combustible a través de tuyeres. En este sentido, es esencial que la inflamabilidad del combustible que se inyecte debe ser igual o mejor que la de coque, y de materiales como granos finos de los residuos plásticos (combustibles) y de polvo generado por el horno de fusión, sean prometedores para el efecto.

La prueba consiste en la cama de coque, en la parte inferior del reactor de fusión, y usando la alta temperatura de combustión. El polvo combustible fue descargado de la bandeja de alimentación que se transporta a cada uno de los tuyeres que se encuentran en la parte baja del horno, mezclándose simultáneamente por el flujo de aire y oxígeno soplado al horno. Por otra parte el polvo combustible es colectado a partir de la descomposición térmica del gas por un ciclón separado entre el reactor de fusión y la cámara de combustión. Los granos finos de plástico especificados en la tabla 2.2 se utilizó también en las pruebas. El espesor de la cama de coque fue variando durante la prueba, y el cambio de espesor se midió con un calibrador de nivel mecánico.

Tabla No 2.2 Característica de los combustibles

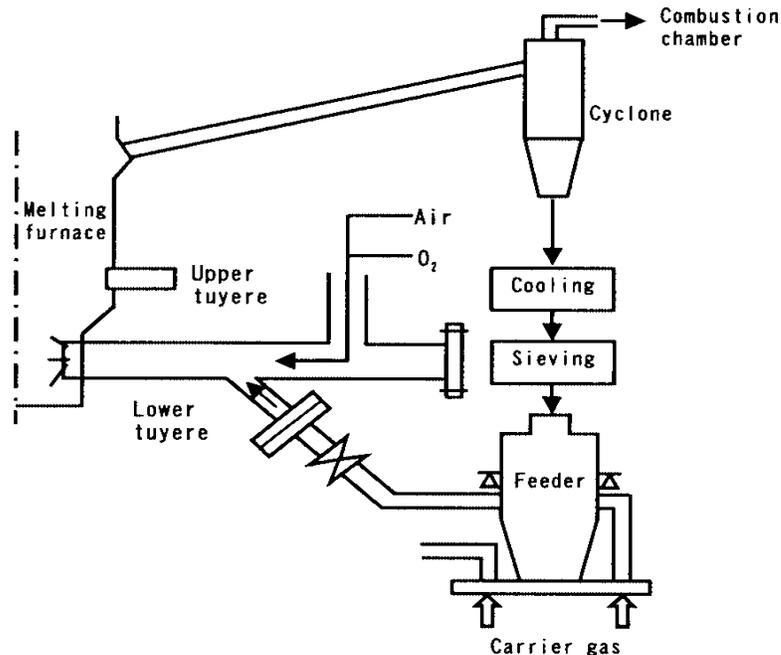
		Plástico	Polvo
Composición química (%)	C	85.6	34.5
	H	14.3	1.0
	O	< 0.1	6.3
Cenizas (%)		-	55.9
Valor calorífico (Mj/Kg)		44	12
Promedio de tamaño en (mm)		0.7	0.06

Fuente: Shibaïke, Hideharu, et al., *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.



Los combustibles utilizados se muestran en la tabla No.2.2, estos fueron inyectados y soplados en el horno, bajo condiciones de aire soplado, similares a la de un horno de fusión directa de los residuos.

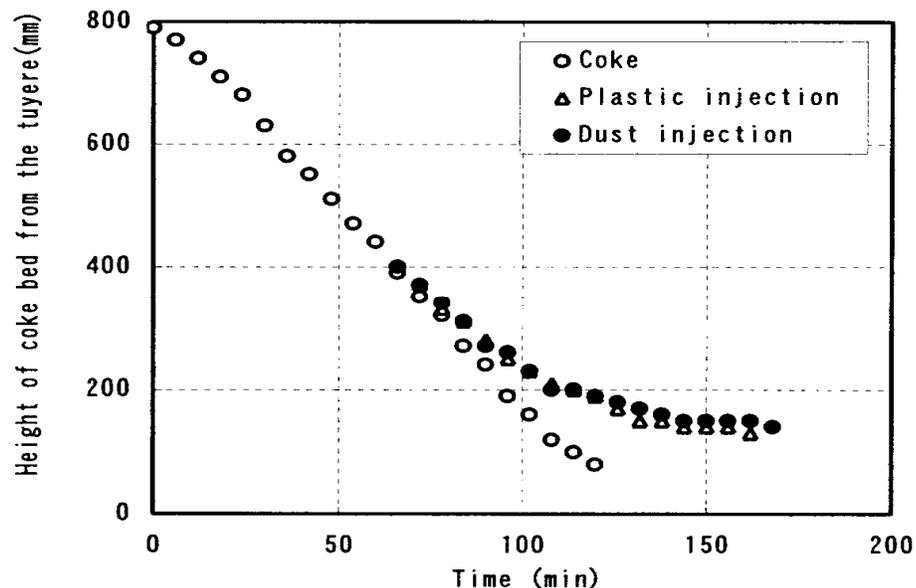
Figura 2.7 Sistema de inyección de combustible de la planta de prueba.



Fuente: *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005. Technical Report No. 92, July 2005.

Resultados de la prueba

Fig.No.2.8 Cambio de altura en la cama de coque de inyección de combustible



Fuente: *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005. Technical Report No. 92, July 2005.



La figura 2.8 (Pg.52) muestra la variación de la altura de la cama de coque en el tiempo, o el cambio de la reducción de su índice. El gráfico compara el caso en el que ningún combustible se inyecta al horno en la cama de coque y otros en los que el plástico o el polvo se ha inyectado. En el caso, sin la inyección de combustible, la cama de coque redujo sustancialmente su altura, es decir, linealmente con el transcurso del tiempo como resultado del consumo de coque a través de la combustión. En cambio, cuando el combustible se inyecta, el índice de reducción de la altura de la cama de coque disminuyó como se ve en el gráfico. Esto demuestra que el combustible que se inyecta a través de lo tuyeres es quemado en lugar del coque, lo que confirma la reducción del consumo de este.

Tabla No 2.3 Resultados de operación de inyección de combustible

	Convencional	Plástico inyectado	Polvo inyectado
Proporción de consumo de coque (%)	5.0	3.2	3.0
Índice de tratamiento de residuos (t/d)	20.0	21.8	21.9
Proporción del fundido (Kg/t de residuo)	127	125	155
Temperatura del fundido (° C)	1596	1491	1500
Valor calorífico inferior de MSW (MJ/kg)	9.2	8.3	7.0

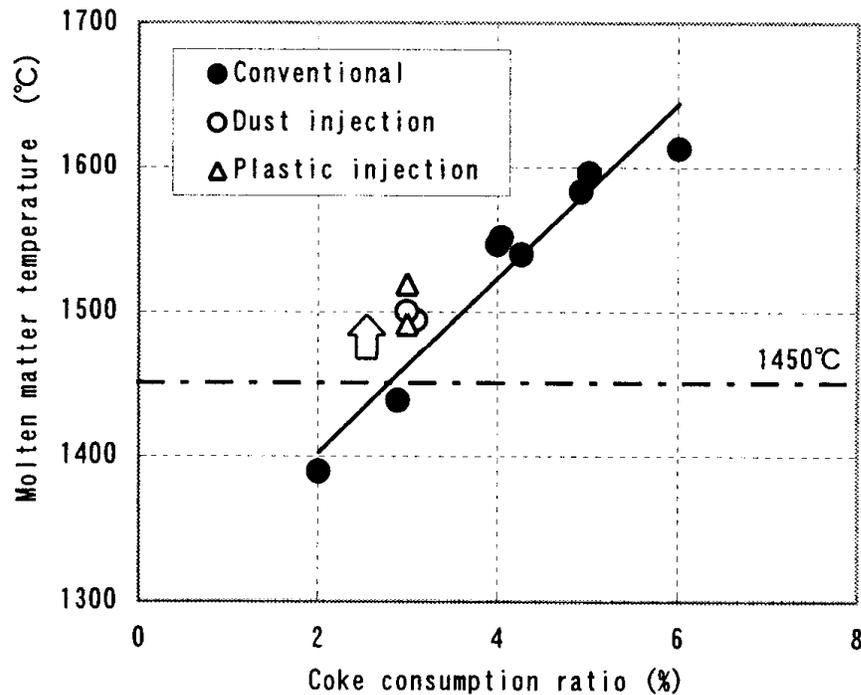
Fuente: *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005. Technical Report No. 92, July 2005.

La tabla 2.3 muestra la proporción de la inyección del plástico con relación al peso de los desechos procesados, se fijó en el 3%. El polvo recogido por el ciclón representan aproximadamente el 5% de los desechos, sin plantear ningún problema en el transporte hasta los tuyeres. El coque de carga se fijó en un 3% ya sea para la inyección de plástico o polvo, y el índice de residuos de carga se mantuvo a 20 t / d.



Cabe mencionar que se debe mantener la temperatura a 1450 ° C o superior, para la producción de escoria de buena calidad y un funcionamiento estable, sin embargo la temperatura tiende a disminuir cuando se redujo el consumo de coque en la utilización de multi-nivel de aire soplado sin la inyección de combustible.

Figura No.2.9 Efecto de la relación entre el consumo de coque y la temperatura de fundición



Fuentes: *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005. Technical Report No. 92, July 2005.

Por otra parte, cuando se inyecta el combustible, las temperaturas del fundido no son inferiores a 1450 ° C (como se muestra en la figura No.2.9), incluso con un consumo de coque de 3%. Esto es presumiblemente debido a que el combustible que se inyecta sirve como sustituto del coque en el horno de fusión y a su vez nos da la disminución del consumo¹⁴.

¹⁴ *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.



2. Torre de vacío.

La torre de vacío maneja una velocidad de 0.15-1.0 Nm/seg de acuerdo al tamaño de las partículas en la capa de relleno.

Efecto: La torre de vacío en el reactor de fusión, sirve para controlar de acuerdo con el tamaño de las partículas los desechos que forman la capa de relleno que está integrada por ceniza y materiales no quemados, generados por la combustión incompleta. En este método los residuos del reactor de fusión, como carbón y sustancias combustibles son pasadas por la parte superior del mismo, junto con el oxígeno suministrado por los tuyeres, los residuos como cenizas y materiales no quemados son descargados por la parte inferior del reactor.

3. Caldera de calor residual

Efecto: Sirve para el tratamiento de los gases de escape, está compuesta de una caldera para la generación de vapor mediante el uso de los gases de combustión generados en el reactor de fusión.

4. Colector de polvo

Efecto: Se utiliza para recoger el polvo de combustible originado por la descomposición térmica, elimina mediante procesos físico-químicos las partículas presentes en el gas, está instalado entre el reactor de fusión y la cámara de combustión.

5. Reducción de la cantidad de oxígeno añadido.

Eliminación en la etapa de fusión en el reactor

Efecto: Se usa para reducir la cantidad de consumo de oxígeno, coque y las escorias depositadas en una porción menor en el reactor que se calientan con un aparato de irradiación de microondas y al mismo tiempo son la combustión de coque con aire soplado de la planta PSA en la etapa más baja, para fundir los residuos en descomposición térmica.



6. Tratamiento de los gases de escape generados por la cámara de combustión

Efectos: Los gases de escape del reactor de fusión y del horno de precalentamiento, son completamente quemados en una torre de combustión. Después de que el gas se mantiene a altas temperaturas, es reducida considerablemente de los gases de escape mediante una torre de enfriamiento, el gas residual diluido se descarga en un precipitador para eliminar las dioxinas y compuestos relacionados simultáneamente con la eliminación de polvo.

7. Soplado de aire enriquecido de oxígeno en el reactor de fusión.

Usa tuyeras en dos o más niveles de altura en el horno de fusión

Efecto: Contribuye a reducir los costos de operación del equipo de generación de oxígeno, (fabricado por un dispositivo), y el gas de nitrógeno utilizado en la purga de gas combustible generado por los residuos del reactor de fusión se añaden en el aire por medio del dispositivo de enriquecimiento de oxígeno.

2.8.2 Innovación en la cámara de combustión

1. Soplado de aire a la cámara de combustión a través de un ventilador

Efecto: Se trata de inyectar aire por medio de un ventilador para el enfriamiento del quemador y de tuberías, para sopla los residuos que pasan al enfriador de gas.¹²

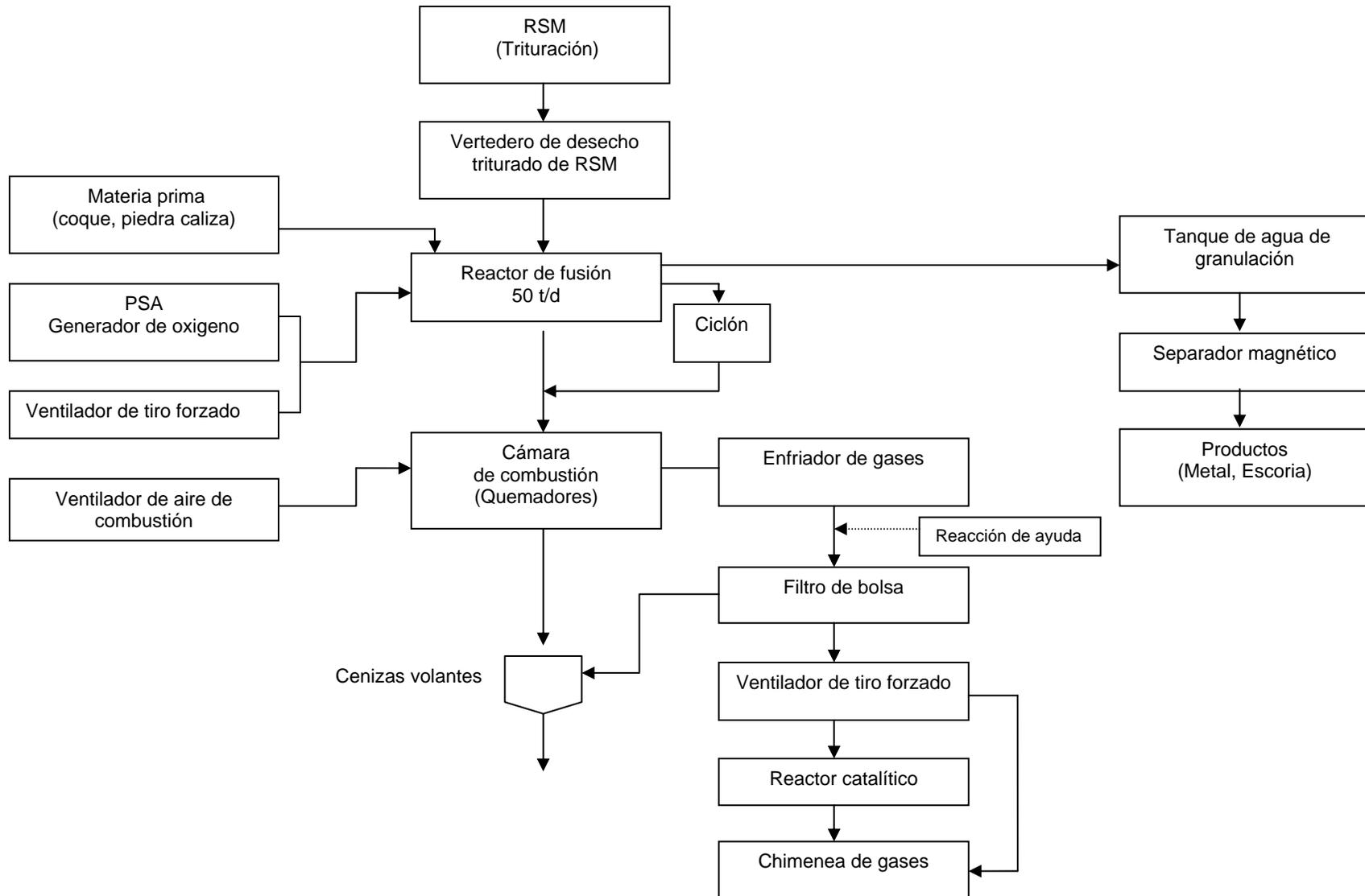
2. Quemador en la cámara de combustión

En la cámara de combustión se coloca un quemador de petróleo

Efecto: Sirve para prevenir la formación de clinker en el puerto del quemador con la quema de petróleo para el sistema de tratamiento de gases de escape provenientes de la combustión de residuos en el reactor de fusión.

¹² Información elaborada a partir de *Patent abstracts of Japan* citadas en la bibliografía

Figura No. 2.10 Diagrama de bloques de la planta experimental para el proceso de tratamiento RSM con la tecnología DMS



Fuente: elaborado a partir de .Shibaïke, Hideharu, et al., *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.



2.9 Conclusión del capítulo.

En este capítulo se ha comprobado que DMS es una tecnología que cuenta con experiencia a nivel industrial mediante la evolución tecnológica que muestra, es decir, desde la construcción del primer horno de fusión en el año de 1979 en la ciudad de Kamaishi, que dio paso a plantas de primera generación con reactores de pequeña capacidad, mostrando las innovaciones al proceso en los equipos principales a través del tiempo para así dar paso a las plantas de segunda generación con reactores de capacidades más grandes.

Estas mejoras al proceso ayuda a la disminución del consumo de materias primas auxiliares como el coque y el oxígeno, los costos de producción y la disminución de los gases contaminantes a la atmosfera mediante equipos de control, como filtros de bolsa, precipitadores electrostático y ciclones; también genera su propia energía eléctrica que es reutilizada en el proceso.



Capítulo 3

Desempeño ecológico



En este capítulo se presenta las estrategias ambientales que ha desarrollado Nippon Steel Engeneer. A su vez, se mencionarán las propiedades y el uso de las cenizas así como de la escorias producidas durante el proceso.

3.1 Política de gestión ambiental de Nippon Steel¹

Esta política está enfocada a la preservación del medio ambiente con tres iniciativas

1. Promueve, como el pilar central de la compañía, las medidas contra el calentamiento global y los programas de acción voluntaria para ahorrar energía en los procesos de producción.
2. Impulsa la reducción de las emisiones de CO₂ en los países en desarrollo y en otros lugares, y transfiriendo tecnologías para perfeccionar las medidas ambientales.
3. Fomenta la conservación y el reciclaje de los recursos para utilizar eficazmente los subproductos que se generan en las industrias, aprovechando al máximo los subproductos y reduciendo al mínimo la generación de desechos de los procesos de producción.
4. Lleva a cabo actividades de preservación del medio ambiente, a través de amplios y enérgicos ejercicios de control en cada fase de los procesos de producción, así como la evaluación del ciclo de vida del proceso.

Nippon Steel, plenamente consciente de la gravedad del calentamiento de la atmósfera, el agotamiento de la capa de ozono y otras cuestiones ha tomado medidas sobre el ahorro de energía.

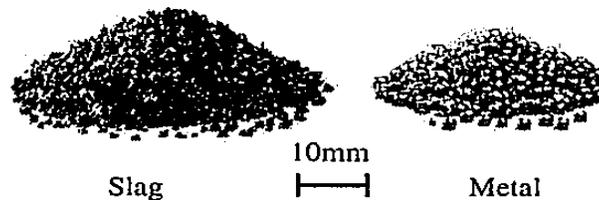
Ha dado pasos hacia la mejora de las operaciones, los procesos continuos, al progreso en la eficiencia de los equipos, la recuperación de los residuos, con esto ha logrado un importante ahorro de energía de más del 20% en 1990, obteniendo mediante la introducción de las tecnologías más avanzadas incluyendo la inyección de carbón fino a los altos hornos y la renovación de las centrales eléctricas.

¹ Nippon Steel, *Nippon Steel Environmental Report 2002*, November 2002.

3.2 Propiedades de los residuos de fusión

El material fundido que es descargado a través de un orificio por la parte inferior del reactor, es enfriado rápidamente en el tanque de agua de granulación, estos gránulos son separados mediante un separador magnético en escoria y metal.

Figura No.3.1 Composición de los resultados de fusión



Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.

La escoria es gris homogénea con partículas de vidrio, y se compone principalmente de SiO_2 , Al_2O_3 y CaO . El contenido de hierro metálico es de menos de 0,3%, lo que demuestra la eficiencia de remoción de hierro por el separador magnético. Los resultados de la prueba se presentan en la Tabla 3.1

Tabla No.3.1 Resultados para la prueba de elusión para el slag en (mg/L)

Elementos	Resultado de la prueba	Standard de suelo
As	<0.005	<0.01
Cd	<0.001	<0.01
Cr ⁶⁺	<0.05	<0.05
T-Hg	<0.0005	<0.0005
Pb	<0.01	<0.01
Se	<0.01	<0.01

Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.



Estas muestras se reunieron del suelo para ser comparados por los estándares de la norma ambiental No.25 de la Agencia de Medio Ambiente de Japón.

El metal homogéneo contiene partículas con brillo metálico y está compuesta por más de 90% de hierro metálico.

Para la utilización de los residuos de fusión, la escoria toma en cuenta la ventaja de su bajo contenido de impurezas y la buena homogeneidad de la escoria se vende como un sustituto de la arena natural. Se utiliza para pavimentación de asfalto y mezclas en los proyectos de construcción.

El metal aprovecha su alto contenido de hierro metálico y su buena homogeneidad, el metal se vende como material para máquinas de construcción.

El tamaño de las partículas en la escoria se muestra en la tabla 3.2

Tabla No.3.2 Conjunto de resultado de las pruebas de Slag

Objeto		Muestra		Porción de la muestra en abril 1995		Prueba de la muestra en mayo 1994	Valor objetivo de referencia
					Desviación Estándar		
Contenido de humedad (%)				4.6	0.4	-----	-----
Tamaño de partícula	9.5 mm	100.00				100.0	100.0
	4.75 mm	99.7				99.8	90-100
Tamaño de partícula para la distribución de peso (%)	2.36 mm	94.2	0.8			94.9	80-100
	1.18 mm	56.7	2.8			57.4	--
	600 µm	19.8	2.7			22.1	25-65
	300µm	6.8	0.6			5.7	10-35
	150µm	2.6	0.2			2.0	2-10
	75µm	1.2	0.1			0.8	0-5
Gravedad específica	Aparente saturación	2.798	0.020			2.807	---
	Superficie - masa	2.770	0.028			0.761	---
	seca	2.754	0.034			2.735	---
Absorción de agua (%)		0.57	0.21			0.94	--
Unidad de peso (t/m ³)	Estándares	1.488	0.033			1.491	---
	Luz - trabajo	1.321	0.28			1.378	---

Fuente: Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.

Los datos de los ensayos de la tabla 3.2 son los valores medios y desviación estándar, tomada de tres muestras en días distintos.



El tamaño de las partículas y su variabilidad (desviación estándar) entre las tres muestras fue pequeño. El bajo contenido de 75 μm y fracciones finas de polvo indica que la escoria es un material limpio. Alrededor del 75% de la distribución de tamaño de partícula se concentra en el volumen de las partículas que van de 600 μm a 2,36 mm, y la fracción que pasa a través de 600 μm es insuficiente en comparación con el valor de referencia.

El peso específico, la absorción de agua, y la unidad de peso, no muestran ningún problema particular con estas propiedades.

La escoria de los hornos de fusión se considera que cumplen las normas de calidad exigidas para asfaltos, cuando se utilizan solas o en combinación (es apto para su uso en combinación de materia orgánica y está libre de suciedad, lodo, y otras posturas perjudiciales)².

² Shibaïke, Hideharu, et al., *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.



3.3 Conclusión del capítulo

En este capítulo pudimos observar que los residuos de fusión por no ser contaminantes pueden ser reutilizados, como es el caso de la escoria que es tomada en cuenta si es de bajo contenido de impurezas y la buena homogeneidad en ella, es vendida como un sustituto de la arena natural utilizada para pavimentación de asfalto y mezclas en los proyectos de construcción.

El metal aprovecha su alto contenido de hierro metálico y su buena homogeneidad, el metal se vende como material para máquinas de construcción.



Capítulo 4

Impacto Ambiental



En este capítulo se estudian los diferentes afectos que causa la contaminación al medio ambiente, ya que los gases liberados a la atmosfera por la tecnología DMS para el tratamiento de RSM son, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos de nitrógeno (NOx), dioxinas y furanos que se consideran contaminantes atmosféricos, todos estos gases están ya tratados como se describe en el capítulo 2, el enfoque de este capítulo es la relación de los normas Mexicanas y los bonos de carbono (del protocolo Kioto) que pudiera obtener la tecnología.

4.1 Impacto ambiental

Por impacto ambiental se entiende la alteración o modificación que una acción o actividad produce sobre el medio ambiente o en algunos de sus componentes. Este efecto es de magnitud variable y puede ser positivo o negativo, aceptable o rechazable en función de diversos criterios.

El deterioro causado al medio ambiente debido a la ejecución de diversos proyectos ha provocado preocupación por tratar de cuantificarlo y evitarlo. En ocasiones es posible efectuar una evaluación en términos económicos, por ejemplo, cuánto cuesta el haber perdido la capacidad productiva de un suelo agrícola, pero en muchas otras no lo es.

4.1.1 Evaluación del impacto ambiental

Se entiende por Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al estudio encaminado a identificar, predecir e interpretar, así como a prevenir las consecuencias o los efectos que las acciones o proyectos pueden causar a la salud, el bienestar humano o al ambiente. Una EIA tiene como propósito:

- Concientizar a los responsables de las decisiones y a la sociedad acerca de los efectos que sobre el ambiente puede tener un proyecto, así como de su importancia.
- Proporcionar información que se pueda ponderar en el proceso de decisión.



Como resultado de una EIA el responsable de la decisión tiene varias posibilidades tales como:

- Autorizar y llevar a cabo el proyecto tal y como está planeado
- Añadir medidas de protección y prevención (mediadas de mitigación)
- Modificar el proyecto para mitigar o evitar los efectos negativos identificados(incluso con la elección de otros sitios para su ejecución)
- Renunciar al proyecto.¹

4.1.2 Metodología

Para realizar un EIA² se debe contar con tiempo suficiente para recopilar, generar y organizar información tanto de campo como de gabinete, así como para discutir opiniones con las autoridades, académicos, involucrados y afectados por el proyecto. El equipo de trabajo debe estar formado por profesionales que incluyan expertos en disciplinas acordes con el proyecto que se va a evaluar y debe incluir un especialista en técnicas de predicción de impactos. El grupo debe estar bajo la dirección de una entidad coordinadora (líder) cuya responsabilidad es asegurar que se trabaje sistemáticamente en la obtención y manejo de la información suficiente para evaluar el impacto. En general, el equipo se conforma con profesionistas de las siguientes áreas:

- Planeación, organización y coordinación de equipos de trabajo
- Ingeniería (ambiental, civil, industrial)
- Ciencias biológicas (ecología, botánica, zoología, o cualquier otro afín)
- Ciencias de la tierra (geología, geografía, edafología)
- Economía y/o sociología

Todas la anteriores deben estar acreditados a los colegios que pertenecen. Los costos de una EIA son cubiertos por el promovente, sea público o privado, la experiencia de varios países señala que una EIA representa entre el 0.02% y el 2% del proyecto. Para el caso de México, la Semarnap señala que es alrededor del 1%.

¹ Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001

² Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)



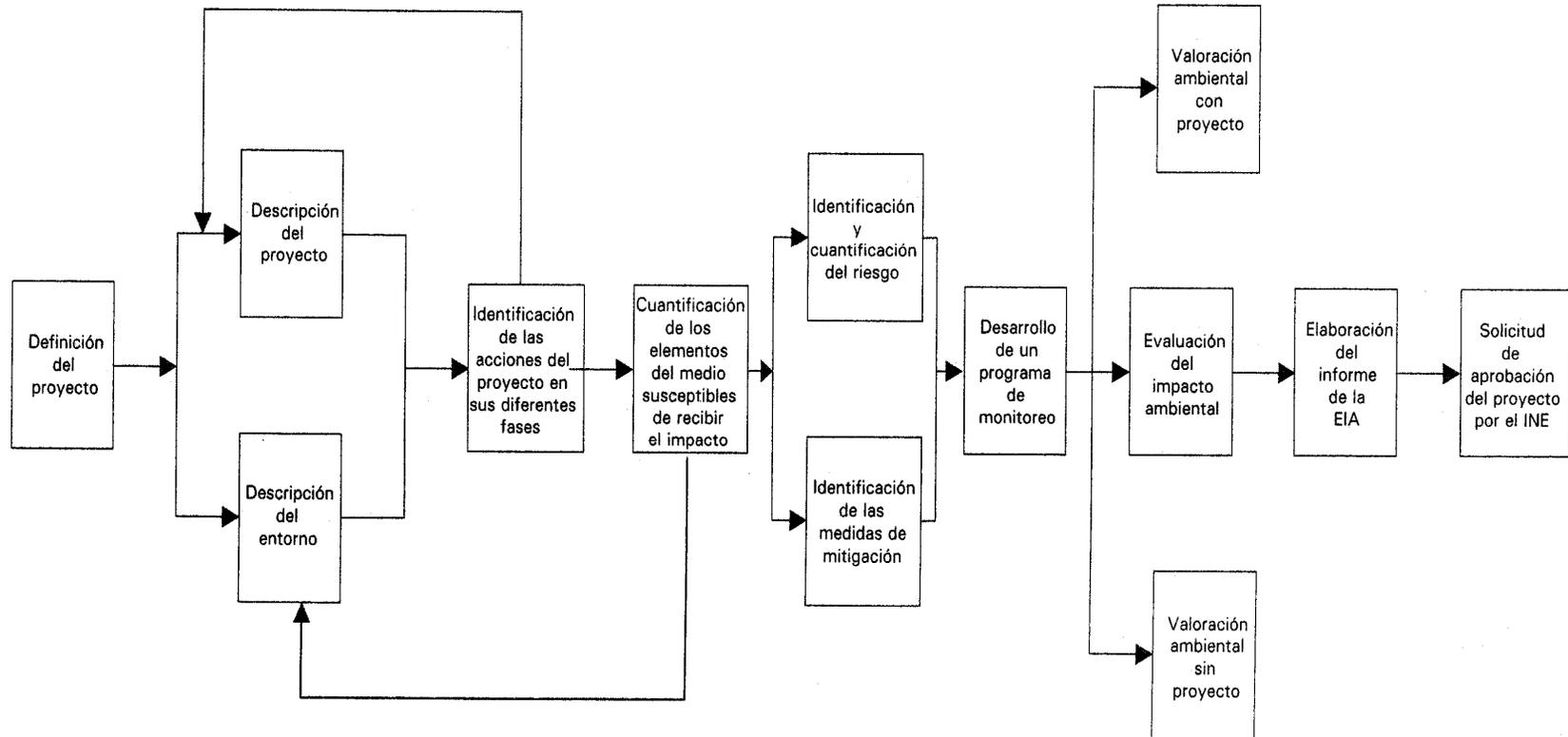
4.1.3 Elementos que contiene una EIA

Los puntos que contiene una evaluación de impacto ambiental son:

1. Descripción del proyecto
2. Descripción del ambiente
3. Identificación de acciones del proyecto en las diferentes fases de construcción, operación y abandono.
4. Identificación y cuantificación de los efectos y su impacto sobre el medio (agua, aire, suelo), funcionales y estructurales, que pueden ser directa e indirectamente afectados a corto, mediano y largo plazo así como su localización, el momento en el cual se producen y sus relaciones de causalidad.
5. Identificación de las medidas de mitigación
6. Consideración de los efectos de riesgo por accidentes
7. Evolución del ambiente sin proyecto
8. Evolución ambiental
9. Dictamen

La figura 4.1 es un diagrama de flujo del proceso de una Evaluación de Impacto Ambiental. Entre las distintas etapas hay empalmes y muchos de los procesos son en realidad iterativos.

Figura No. 4.1 Esquema para la evaluación del impacto ambiental



Fuente: Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001



4.2 Contaminación atmosférica.

El nombre de contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perjudiciales sobre la salud de los seres vivos y los elementos materiales. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes.

Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos inquemados.

Debido a que el aire es una mezcla de compuestos que varía en el tiempo y espacio, es muy difícil definir precisamente lo que es la contaminación. A continuación se presentan cuatro definiciones diferentes que abarcan distintos aspectos:

1.- American Society for Testing Material (Lora y Mirò 1978):

“Es la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables en concentraciones, tiempo y circunstancias tales que pueden afectar significativamente la comodidad, salud y bienestar de las personas o al uso y disfrute de sus propiedades”.

2.- Consejo de Europa (Lora y Mirò 1978):

“Existe contaminación del aire cuando existe la presencia en él de una sustancia extraña o una variación importante en la proporción habitual, es capaz de provocar un efecto perjudicial o una molestia, teniendo en cuenta los conocimientos científicos del momento”

3.- En Francia la norma AFNOR NFX43-001 (Chabrier de la Saulnière, 1996) establece que contaminación:

“Es la presencia de impurezas en el aire que pueden provocar un perjuicio notable en la salud, la comodidad o los bienes humanos. Esta contaminación puede deberse a gases, vapores, partículas sólidas o líquidas e incluso radiaciones”



4.- En México, la Ley Federal para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del 2000 menciona que :

“Se entiende por contaminación la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes (materia o energía) o de cualquier combinación de ellos que cause un desequilibrio ecológico”.

Para la contaminación atmosférica se emplean como unidad de medida tanto los $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como las partes por millón (ppm); el primero es el estandarizado por el Sistema Internacional de Medidas y el segundo más común.

El termino ppm se refiere al número de veces que un contaminante gaseoso se encuentra en un millón de partes de aire, cuando se trata de dispersiones muy diluidas se emplea las partes por billón (ppb).

En la tabla No.4.1 relaciona la concentración de las especies en el aire limpio y contaminado. Las unidades se dan en partes por billón.

Tabla No.4.1 Concentraciones de compuestos en atmosfera limpia y contaminada

Parámetro	Concentración (ppb)		Tiempos de residencia aproximados
	Atmósfera limpia	Atmósfera contaminada	
Partículas		$>100 \text{ g}/\text{m}^3$	
CO	120	1.00-10.00	65 días
CO ₂	320.000	400	15 años
SO ₂	0.2-10	20-200	40 días
NO	0.01-0.6	50-750	1 día
NO ₂	0.1-1	50-250	1 día
HNO ₂	0.001	1-8	
HNO ₃	0.02-0.3	3-50	1 día
O ₃	20-80	100-500	
NH ₃	1-6	10-25	20 días
CH ₄	1.500	2.500	8-10 años
N ₂ O	300		10-150 años
H ₂ S	0.2		
PB	$5 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.5-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Fuente: KIELYGerard, "Ingeniería Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestion. McGraw-Hill, 2000.



Para que la población pueda saber si los niveles de contaminación del aire son satisfactorios o no en la ciudad de México, se estableció una unidad de medida llamada IMECA; que significa Índice Metropolitano de Calidad del Aire; para cada uno de los contaminantes se representa con valor de 100 puntos de límite considerado como satisfactorio; a partir de lo anterior, se ha establecido la siguiente escala:

0-100	Verde	Satisfactorio
100-200	Azul	Regular
200-300	Café	Malo
300-400	Rojo	Muy malo

4.2.1 Clasificación de los agentes contaminantes

Cada familia de contaminantes tiene sus fuentes, su difusión en la atmósfera y sus efectos. En particular, en el caso de la contaminación atmosférica, la difusión de los agentes contaminantes desempeña un papel importante en las repercusiones producidas: en ciertos casos, una contaminación importante pero de origen puntual puede dispersarse sobre una zona geográfica amplia y tener un impacto débil, en otros casos, una contaminación difusa (la que generan los medios de transporte) se concentra por los vientos y el relieve teniendo un impacto notable sobre las ciudades. Existen diversas formas para clasificar los contaminantes, primarios y secundarios, según sean arrojados tal cual en la atmósfera, o bien, se formen en ella debido a la presencia de diversos compuestos y a la acción de la luz solar.

Los contaminantes primarios³ son aquellos que se emiten desde un foco identificable, por ejemplo: SO, CO, NOx, SOx, partículas, hidrocarburos, metales.

³ KIELY, Gerard, "Ingeniería Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill, 2000.



Los contaminantes secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas y se incluyen: O₃, otros oxidantes fotoquímicos (nitrato de peroxiacetilo) e hidrocarburos oxidados.

En la tabla 4.2 se relaciona de manera general los focos principales de los contaminantes del aire. Pudiendo observar que el tráfico y las centrales térmicas son los contribuyentes más importantes de la contaminación atmosférica.

Tabal No.4.2 Principales compuestos contaminantes del aire y sus focos

Contaminante	Fuente de actividad							
	Centrales térmicas	Trafico	Calentamiento domestico	Refinado de Petróleo	Minería	Ind. Química Farmaceutica.	Manofac tura . metálica	Incineración de RSM
Partículas	√	√	√		√		√	√
CO	√	√	√					√
CO ₂	√	√	√					√
SOx	√	√	√	√				√
NOx	√	√	√	√				√
VOC	√	√	√	√				√
O ₃		√						
HC	√	√	√	√		√		√
Mtrial.								
Pesados		√			√		√	√
Pb	√		√		√	√	√	√
Hg					√		√	√
Cu			√		√	√	√	√
Cd					√		√	√
Zn							√	√
CFC								√

Fuente: KIELY, Gerard, "Ingenieria Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestion. McGraw-Hill,2000.

4.3 Principales contaminantes atmosféricos

Para describir los principales contaminantes del aire se empleará la clasificación de acuerdo con las familias químicas⁴.

⁴ Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México,2001



4.3.1 Monóxido de carbono

El CO es más ligero que el aire y tiene alta difusividad, se forma durante el proceso de combustión del carbón en concentraciones altas en los gases producidos, las fuentes de este contaminantes se encuentran de forma natural, por ejemplo, oxidación natural del metano, respiración de los seres vivos, incendios accidentales de bosques, minas, y campos de cultivo, o de la forma artificial, por ejemplo, combustión en fuentes fijas, procesos industriales, disposición de desechos sólidos, combustión de transporte.

Entre los efectos que provoca el CO si se respira, aunque sea en moderadas cantidades, se encuentra el que puede causar la muerte por envenenamiento en pocos minutos ya que substituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre.

4.3.2 Dióxido de carbono

Es uno de los productos de la combustión de la materia orgánica debida al proceso de respiración o a las combustiones artificiales completas, también una de las materias primas para la fotosíntesis.

4.3.3 Dióxido de azufre

Se forma por la oxidación de combustibles fósiles que contiene azufre. Es un gas de condensación fácil, incoloro, de olor picante e irritante y mas pesado que el aire, se disuelve ligeramente en agua formando ácido sulfuroso que acelera la corrosión de los metales y de los materiales de construcción (en especial ataca a la piedra caliza). El dióxido de azufre provoca irritación del tracto respiratorio y favorece el enfisema pulmonar, en la ciudad de México el dióxido de azufre lo emite preponderadamente el sector industrial. Se pueden controlar mediante⁵ filtros específicos, además de limitar el contenido de azufre existente en los combustibles estableciendo las cantidades máximas de éste aceptables.

Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001



4.3.4 Ácido Sulfhídrico

Gas tóxico, incoloro y de olor desagradable puede ser percibido por el olfato a una concentración de 0.15ppb, es un contaminante del aire que proviene de la descomposición natural de plantas o de algunos procesos industriales, por ejemplo, proceso en metalurgia, el ácido sulfhídrico provoca pérdida del olfato, dolores de cabeza, daños al sistema nervioso central y muerte, en 1950 una falla de operación de un pozo de gas natural en Poza Rica, Veracruz, permitió que el ácido sulfhídrico escapara y provocara la muerte de 22 personas y la hospitalización de otras 320.

4.3.5 Hidrocarburos

Familia de compuestos químicos cuyas moléculas están formadas de carbono e hidrógeno, la principal fuente de emisión son las industrias del petróleo y del gas natural entre otros, los efectos de los hidrocarburos se pueden diferenciar de manera general, por grupos, los de tipo parafínico son asfixiantes por desplazamiento del oxígeno, los alquenos o oleofínicos se caracterizan por ser muy reactivos en la atmósfera, en la ciudad de México se observa un máximo matutino atribuible a las emisiones vehiculares y un mínimo por la tarde, momento de intensa actividad fotoquímica, la mayor parte de los hidrocarburos reaccionan para formar otro tipo de compuestos

4.3.6 Óxido nítrico

Se produce en combustiones realizadas a más de 1,100 °C, por oxidación del nitrógeno atmosférico, también se forma por la fabricación de ácido nítrico y sulfúrico, así como en la nitración industrial, se estima que el 10% del óxido nítrico es originado en procesos industriales, mientras que el 90% restante proviene de la combustión del petróleo y sus derivados. Normalmente presente en el smog, el óxido nítrico no ocasiona daños a la salud.



4.3.7 Dióxido de nitrógeno

Gas de color rojizo y olor desagradable, es el principal causante del color característico del smog fotoquímico su olor es detectable a partir de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se origina en las combustiones a altas temperaturas tanto en las industrias como en los vehículos dentro de sus efectos se encuentran la irritación pulmonar, ataques al sistema cardiovascular, en la ciudad de México la concentración de los óxidos de nitrógeno son atribuibles tanto a las industrias como a los transportes, por lo que su comportamiento diario es un reflejo de ambos.

4.3.8 Ozono⁶

Es un gas azulado de olor picante semejante al del cloro que muchas personas detectan a partir de 0.02 ppm. El ozono se produce de forma natural durante las tormentas eléctricas por el paso de descargas a través de la atmosfera, se encuentra, en la llamada "capa de ozono", la formación de ozono en la troposfera requiere la presencia de óxidos de nitrógeno, luz solar y oxígeno, es decir, se trata de un contaminante secundario.

4.4 Efectos de la contaminación atmosférica⁷

Los efectos de la contaminación atmosférica pueden presentarse en tres escalas: micro, media y macro. Los de micro escala van desde los que abarcan menos de un centímetro hasta los del tamaño de una casa, o un poco mayor, los de escala media son los que ocupan desde unas cuantas hectáreas, hasta el tamaño de una ciudad o municipio; los de macro escala se extiende a través de municipios, estados, países y

⁶ Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001

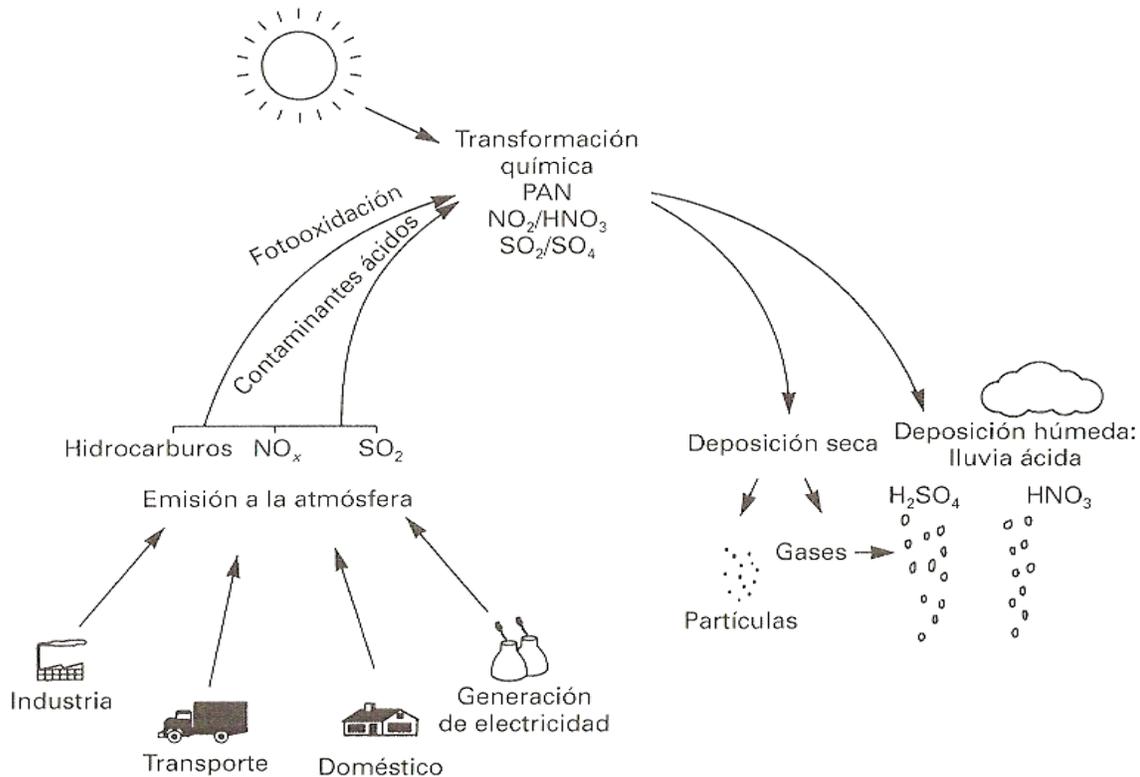
⁷ KIELY, Gerard, "Ingeniería Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill, 2000.



en el sentido más amplio al globo terráqueo, también pueden provocar deposición ácida (lluvia), inversión térmica, agotamiento del ozono y el calentamiento global.

4.4.1 Deposición ácida

Figura No.4.2 Formación de acidez atmosférica y deposición de ácidos



Fuente :KIELY, Gerard, "Ingeniería Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestion. McGraw-Hill,2000.

La figura 4.2 muestra el mecanismo de la deposición ácida. Las emisiones de óxido de azufre, óxido de nitrógeno e hidrocarburos procedentes de actividades industriales, transporte, vivienda y producción de energía se transforman en la atmósfera en partículas se sulfatos y nitratos. Cuando se combinan con la reacción solar y el vapor de agua se modifica en ácido sulfúrico o nítrico suave, mediante reacciones químicas complejas. A su vez estos ácidos retornan a la tierra en forma de rocío, llovizna, niebla, aguanieve, nieve y lluvia. La deposición de ácido puede ser seca en forma de partículas o gases, humedad en la lluvia y en la nieve. El agua de lluvia posee un pH



5.7, en la ciudad de México se han determinado pH de lluvia con valores inferiores a 5.0, algunas veces 4.0 y en raras ocasiones 3.0. La precipitación ácida tiene serios efectos negativos en los bosques, la vida acuática y en algunos materiales de edificios revestidos de piedra natural.

4.4.2 Inversión térmica

Normalmente la troposfera se enfría debido a la altitud; conteniendo aire seco y sin movimiento, este decremento se produce a razón de $100^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ hasta antes de la estratosfera. El aire cercano al suelo es más caliente y menos denso que el que se encuentra por encima, por lo que tiende a subir llevando consigo los contaminantes presentes. Cuando no existe viento, este mezclado vertical es el único medio para limpiar la atmósfera baja, durante la noche, cuando no hay nubes, el suelo se enfría rápidamente, ocasionando que el aire adyacente se enfríe y tenga mayor densidad, quedando atrapado por una capa de aire caliente. Este fenómeno natural se torna un problema si en la zona donde se produce existen contaminantes, otro factor que puede provocar la inversión térmica es la topografía, en el valle de México por estar rodeados de montañas y tener un invierno con cielo despejado es ideal para que existan inversiones, durante casi 7 meses al año, la velocidad de los vientos es en promedio 1.5 m/s y generalmente circula de norte a sur por lo tanto la inversión térmica se presenta durante todo el año siendo mayor su intensidad y número durante los últimos días de otoño, en invierno y el inicio de la primavera.

4.4.3 Agotamiento del ozono

Sin el ozono todo ente en la superficie de la tierra moriría incinerado; la presencia del ozono en la atmósfera superior forma una barrera para la radiación ultravioleta. Molina y Rowland revelaron la amenaza potencial de la contaminación aire hacia el escudo protector de ozono, los aspectos alarmantes de estas reacciones son que el átomo de cloro elimina al ozono del sistema, y este átomo se recircula en forma continua



convirtiendo mas ozono en oxígeno; así, los CFC⁸, compuestos bastante inertes en la atmósfera inferior se vuelven un problema grave de contaminación del aire a mayores alturas.

En septiembre de 1987 se estableció el Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Destruyen la capa de ozono; este protocolo en términos actuales prohíbe la producción de CFC, tetracloruro de carbono y metil cloroformo.

La perspectiva del desarrollo o disminución del agujero de ozono en el futuro se desvanece debido tanto al clima como a las erupciones volcánicas; una primavera muy fría y fuertes vientos que formen un vórtice polar que evite el restablecimiento de la capa de ozono, causará el desarrollo del agujero de ozono en el hemisferio norte; así como la erupción de volcanes que emiten aerosoles de ácido sulfúrico y las contribuciones antropogénicas.

4.4.4 Calentamiento global⁹

A diferencia del ozono, el dióxido de carbono es relativamente transparente a la luz UV de onda corta procedente del sol; sin embargo, si absorbe y emite radiación de ondas largas, características de la tierra y su atmósfera. En consecuencia el CO₂ funciona como el vidrio de un invernadero, deja pasar la radiación de onda corta que procede del sol y calienta la superficie del suelo; pero limita la pérdida de calor por radiación desde dicha superficie; mientras mas CO₂ haya en la atmósfera, tendrá más eficacia en restringir la salida de energía radiante. La hipótesis es que al aumentar la concentración de CO₂ se causa un calentamiento global.

Con base en el aumento de la temperatura global de 1 a 3.5 °C se pronostica en América del Norte:

- Una disminución de los costos de calefacción
- Estación de cultivo más larga

⁸ Clorofluorocarbonados (CFC). Contienen Cl, F y C en su molécula

⁹ KIELY, Gerard, "Ingeniería Ambiental" fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill, 2000



- Navegación más fácil en los mares árticos
- Condiciones más secas para cultivos, que requerirán más irrigación

Un aumento en el nivel del mar hasta de 0.5m, que causara un aumento en la gravedad de inundaciones, daños a estructuras costeras, destrucción de humedales e intrusión de agua salada en las fuentes de agua potable en áreas costeras, en una escala global, los efectos sobre la salud humana pueden ser catastróficos.

4.4.5 Legislación

De acuerdo con la ley general del equilibrio ecológico para la protección del ambiente (LGEEPA), todas las emisiones de contaminantes en la atmósfera, deben ser reducidas o controladas, por lo cual, la Semarnap, en coordinación con la secretaria de salud, expiden normas que establecen los niveles máximos permisibles de emisión por contaminantes y por fuentes obligando a instalar equipos de control de emisiones para las zonas conurbadas.

Actualmente en México existen normas de emisión para fuentes fijas y móviles, la tabla 4.3 (Pg. 82-86) presenta algunas normas para contaminación atmosférica.



Tabla 4.3. Normas oficiales Mexicanas

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA		
MEDICIÓN DE CONCENTRACIONES		D.O.F.
NOM-034-ECOL-1993 NOM-034-SEMARNAT-1993	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO	18/OCT/93
NOM-035-ECOL-1993 NOM-035-SEMARNAT-1993	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1 ANEXO 3 ANEXO 5 ANEXO 6 ANEXO 7	18/OCT/93
NOM-036-ECOL-1993 NOM-036-SEMARNAT-1993	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1	18/OCT/93
NOM-037-ECOL-1993 NOM-037-SEMARNAT-1993	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE NITRÓGENO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO1	18/OCT/93
NOM-038-ECOL-1993 NOM-038-SEMARNAT-1993	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1-3 ANEXO 4	18/OCT/93
EMISIONES DE FUENTES FIJAS		D.O.F.
NOM-039-ECOL-1993 NOM-039-SEMARNAT-1993	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE BIÓXIDO Y TRIÓXIDO DE AZUFRE Y NEBLINAS DE ÁCIDO SULFÚRICO, EN PLANTAS PRODUCTORAS DE ÁCIDO SULFÚRICO.	22/OCT/93
NOM-040-ECOL-2002 NOM-040-SEMARNAT-2002	PROTECCIÓN AMBIENTAL-FABRICACIÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO-NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA. (MODIFICACIÓN D.O.F. 20-ABRIL-2004).	18/DIC/02
NOM-043-ECOL-1993 NOM-043-SEMARNAT-1993	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS.	22/OCT/93
NOM-046-ECOL-1993 NOM-046-SEMARNAT-1993	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE BIÓXIDO DE AZUFRE, NEBLINAS DE TRIÓXIDO DE AZUFRE Y ÁCIDO SULFÚRICO, PROVENIENTES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO DODECILBENCENSULFÓNICO EN FUENTES FIJAS.	22/OCT/93
NOM-075-ECOL-1995 NOM-075-SEMARNAT-1995	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LOS SEPARADORES AGUA-ACEITE DE LAS REFINERÍAS DE PETRÓLEO.	26/DIC/95
NOM-085-ECOL-1994	FUENTES FIJAS QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES	



NOM-085-SEMARNAT-1994	FÓSILES SÓLIDOS, LÍQUIDOS O GASEOSOS O CUALQUIERA DE SUS COMBINACIONES. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE HUMOS, PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES, BIÓXIDO DE AZUFRE Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO. REQUISITOS Y CONDICIONES PARA LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO INDIRECTO POR COMBUSTIÓN, ASÍ COMO NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE EN LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO DIRECTO POR COMBUSTIÓN. (MODIFICACIÓN D.O.F. 11-NOVIEMBRE -1997).	02/DIC/94
NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, ESPECIFICACIONES DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL. Acuerdo de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. D.O.F. 03-OCTUBRE-2006	30/ENE/06
NOM-092-ECOL-1995 NOM-092-SEMARNAT-1995	REQUISITOS, ESPECIFICACIONES Y PARÁMETROS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO UBICADAS EN EL VALLE DE MÉXICO.	06/SEP/95
NOM-093-ECOL-1995 NOM-093-SEMARNAT-1995	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LABORATORIO DE LOS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO. ANEXO 1	06/SEP/95
NOM-097-ECOL-1995 NOM-097-SEMARNAT-1995	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE MATERIAL PARTICULADO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE VIDRIO EN EL PAÍS. (1a. ACLARACIÓN D.O.F. 01-JULIO-1996. Y 2a. ACLARACIÓN D.O.F. 16-OCTUBRE-1996).	01/FEB/96
NOM-105-ECOL-1996 NOM-105-SEMARNAT-1996	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS TOTALES Y COMPUESTOS DE AZUFRE REDUCIDO TOTAL PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE QUÍMICOS DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN DE CELULOSA.	02/ABR/98
NOM-121-ECOL-1997 NOM-121-SEMARNAT-1997	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE CARROCERÍAS NUEVAS EN PLANTA DE AUTOMÓVILES, UNIDADES DE USO MÚLTIPLE, DE PASAJEROS Y UTILITARIOS; CARGA Y CAMIONES LIGEROS, ASÍ COMO EL MÉTODO PARA CALCULAR SUS EMISIONES. (ACLARACIÓN D.O.F. 09-SEPTIEMBRE-1998).	14/JUL/98
NOM-123-ECOL-1998 NOM-123-SEMARNAT-1998	CONTENIDO MÁXIMO PERMISIBLE DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV's), EN LA FABRICACIÓN DE PINTURAS DE SECADO	14/JUN/99



	AL AIRE BASE DISOLVENTE PARA USO DOMÉSTICO Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS MISMOS EN PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS. (ACLARACIÓN D.O.F. 29-SEPTIEMBRE-1999).	
NOM-137-SEMARNAT-2003	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA - PLANTAS DESULFURADORAS DE GAS Y CONDENSADOS AMARGOS – CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS DE AZUFRE.	30/MAY/03
EMISIONES DE FUENTES MÓVILES		D.O.F.
NOM-041-ECOL-1999 NOM-041-SEMARNAT-1999	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE. ACUERDO POR EL QUE SE RECONOCEN COMO VÁLIDOS PARA EFECTOS DE DEMOSTRAR EL CUMPLIMIENTO DE LO DISPUESTO POR LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS NOM-041-SEMARNAT-1999 Y NOM-045-SEMARNAT-1996, LOS CERTIFICADOS O CONSTANCIAS EMITIDOS CONFORME A LAS REGULACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y CANADÁ D.O.F. 03-NOVIEMBRE-2006	06/AGT/99
PUBLICACIÓN RECIENTE NOM-042-SEMARNAT-2003	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES O NO METANO, MONÓXIDO DE CARBONO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y PARTÍCULAS PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES NUEVOS CUYO PESO BRUTO VEHICULAR NO EXCEDA LOS 3,857 KILOGRAMOS, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y DIESEL, ASÍ COMO DE LAS EMISIONES DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE DICHS VEHÍCULOS.	07/SEP/05
NOM-044-ECOL-1993 NOM-044-SEMARNAT-1993	EMISIÓN DE HIDROCARBUROS, MONÓXIDO DE CARBONO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO, PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y OPACIDAD DE HUMO PROVENIENTES DEL ESCAPE DE MOTORES NUEVOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE Y QUE SE UTILIZARÁN PARA LA PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3857 KG. (ACUERDO SOBRE CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA IMPORTACIÓN DEFINITIVA D.O.F. 10-FEBRERO-03) SERÁ CANCELADA POR LA NOM-SEMARNAT-2006	22/OCT/1993
PUBLICACIÓN RECIENTE NOM-044-SEMARNAT-2006	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES, HIDROCARBUROS NO METANO, MONÓXIDO DE CARBONO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO, PARTÍCULAS Y OPACIDAD DE HUMO PROVENIENTES DEL ESCAPE DE MOTORES NUEVOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE Y QUE SE UTILIZARÁN PARA LA PROPULSIÓN DE	12/OCT/06



	VEHÍCULOS AUTOMOTORES NUEVOS CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS, ASÍ COMO PARA UNIDADES NUEVAS CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR A 3,857 KILOGRAMOS EQUIPADAS CON ESTE TIPO DE MOTORES. A SU ENTRADA EN VIGOR CANCELARÁ A LA NOM-044-SEMARNAT-1993	
NOM-045-ECOL-1996 NOM-045-SEMARNAT-1996	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL O MEZCLAS QUE INCLUYAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE. ACUERDO POR EL QUE SE RECONOCEN COMO VÁLIDOS PARA EFECTOS DE DEMOSTRAR EL CUMPLIMIENTO DE LO DISPUESTO POR LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS NOM-041-SEMARNAT-1999 Y NOM-045-SEMARNAT-1996, LOS CERTIFICADOS O CONSTANCIAS EMITIDOS CONFORME A LAS REGULACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y CANADÁ D.O.F. 03-NOVIEMBRE-2006	22/ABR/97
NOM-047-ECOL-1999 NOM-047-SEMARNAT-1999	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES, PROVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS.	10/MAY/00
NOM-048-ECOL-1993 NOM-048-SEMARNAT-1993	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS, MONÓXIDO DE CARBONO Y HUMO, PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACIÓN QUE UTILIZAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE.	22/OCT/93
NOM-049-ECOL-1993 NOM-049-SEMARNAT-1993	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN, PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES, PROVENIENTES DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE.	22/OCT/93
NOM-050-ECOL-1993 NOM-050-SEMARNAT-1993	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS COMO COMBUSTIBLE.	22/OCT/93
NOM-076-ECOL-1995 NOM-076-SEMARNAT-1995	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS NO QUEMADOS, MONÓXIDO DE CARBONO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO PROVENIENTES DEL ESCAPE, ASÍ COMO DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y OTROS	26/DIC/95



	COMBUSTIBLES ALTERNOS Y QUE SE UTILIZARÁN PARA LA PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS NUEVOS EN PLANTA. (ACUERDO D.O.F. 29-DICIEMBRE-2003).	
NOM-077-ECOL-1995 NOM-077-SEMARNAT-1995	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.	13/NOV/95
NORMAS EMERGENTES		D.O.F.
NOM-EM-148-SEMARNAT-2006	Contaminación atmosférica.- Refinerías de petróleo.- Recuperación de azufre	03/ABR/06

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesnормas/NormaOficialMexicana> consultada el día 16 de Junio de 2008

4.5 Contaminación del agua.

La contaminación del agua es la adición a la misma de materia extraña indeseable que deteriora su calidad, se considera que se genera contaminación en el agua por la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos mensurables en la flora, la fauna (incluido el humano) o en los materiales de utilidad u ornamentales.

El agua de los mares y de los ríos ha sido usada tradicionalmente como medio de evacuación de los desperdicios humanos y los ciclos biológicos del agua aseguran la reabsorción de dichos desperdicios orgánicos reciclables. Pero actualmente, ya no son solamente estos desperdicios orgánicos los que son arrojados a los ríos y a los mares sino cantidades mayores y desperdicios de productos químicos nocivos que destruyen la vida animal y vegetal acuática, anulan o exceden la acción de las bacterias y las algas en el proceso de biodegradación de los contaminantes orgánicos y químicos de las aguas.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.



Los contaminantes en forma líquida provienen de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, de terrenos de relleno sanitario, de drenajes de minas y de fugas de fosas sépticas. Estos líquidos contienen minerales disueltos, desechos humanos y de animales, compuestos químicos sintéticos, materia coloidal y en suspensión. Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales.

4.5.1 Calidad del agua¹⁰

La calidad del agua puede definirse como su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha ido destinando, en la antigüedad, la calidad del agua se clasificaba sólo por sus aspecto, sabor, color y olor, actualmente los avances científicos han desarrollado técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de compuestos, a tal grado que es posible hacer agua “potable” mediante la depuración de agua residual.

Se calcula que en la tierra existe aproximadamente 1'385,000,000 km³ de agua, de los cuales el 97.3% es salada, el 2.08% se encuentra congelada en los polos y sólo una pequeña parte está efectivamente disponible para nuestras necesidades.

4.5.2 Consumo de agua

El consumo de agua de una comunidad puede clasificarse en tres grupos: domésticos, público, e industrial.

El consumo doméstico, de agua puede variar entre límites más o menos amplios, dependiendo de los hábitos higiénicos de la población se puede estimar en 75 a 80 l/h/d cantidad básica doméstica de agua, la que incluye las necesidades fisiológica, usos culinarios y requerimiento para lavados de ropa, baño, inodoros, etc.

¹⁰Unda Opazo, *Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, México, Limusa, 1993



Consumo público

El consumo públicos, el gasto de agua que está relacionado con el requerido en edificios de uso público, escuelas, cuarteles, hospitales, mercados, piscinas públicas, lavado de calles y riego de jardines, es muy variable, sin embargo, y con la solo idea de indicar un porcentaje muy general se puede estimar en 30 a 40, o más, l/h/d. El gasto de agua que demandan los servicios públicos normalmente es excesivo, y en gran parte se debe a descuidos y despilfarros.

Consumo industrial

El consumo industrial, es muy variable y depende fundamentalmente de la industrialización de la ciudad o región y del tipo de industria, las cuales cada día necesitan más agua para la elaboración de sus productos, refrigeración y producción de vapor. Las zonas industriales en ciertos casos conducen a un de desarrollo urbanístico, aumento de la población y por consecuencia aumento de la cantidad de agua requerida, otro factor que influye en el consumo industrial de agua proveniente de un abastecimiento público es la cantidad de agua disponible, el precio, la calidad y cantidad de capas de agua subterráneas susceptibles de ser explotadas por la industria.

Las pérdidas, no constituyen un consumo, es un factor que debe ser considerado, las perdidas en el domicilio influyen en el consumo domestico, por otra parte,

4.5.3 Agentes contaminantes del agua

Entre las muchas propiedades del agua, una de las más importantes es su capacidad de disolución. Los contaminantes como los residuos químicos, gasolina o petróleo pueden contaminar el agua de la superficie y el suelo cuando se mezclan en alguna de las etapas del ciclo del agua, por encontrarse sus moléculas en continuo movimiento, en sus estados líquido y gaseoso, el agua transporta elementos de una



parte a otra del planeta, ya sea que se encuentren en ella contaminantes disueltos o suspendidos¹¹.

4.5.4 Clasificación de los agentes contaminantes del agua

Se distinguen los contaminantes en químicos, biológicos, orgánicos y físicos.

Los contaminantes químicos, provienen de los drenados de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales municipales, desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos. Producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético. Algunos son desechados directamente, se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y, por último, en una pequeña fracción se forma durante el procesamiento del agua. Entre estos últimos se encuentran los organoclorados (tetracloruro de carbono y cloroformo), que se forman por la desinfección con cloro.

Contaminantes biológicos

Los contaminantes biológicos, son microorganismos vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Las más comunes en el hombre son la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que los causan entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales. Para tener una idea de la magnitud de este problema se estima que el 80% de todas las enfermedades y más de un tercio de los fallecimientos en los países en vías de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada.

Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos también son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desperdicios domésticos, agrícolas, industriales y de la

¹¹ Unda Opazo, *Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, México, Limusa, 1993



erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas, tinturas y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutrofización)¹².

Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua.

Contaminantes físicos

Los contaminantes físicos, son alteraciones de las propiedades físicas del agua, tales como la temperatura, color, olor, etc. Su origen y efecto son diversos. Estos contaminantes afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

Metales pesados

Otros contaminantes como los metales pesados¹³, ciertos plaguicidas, los cianuros, los hidrocarburos, el arsénico y el fenol provocan prácticamente la destrucción de los ecosistemas acuáticos y también serios daños a las personas que consumen agua o sus derivados contaminados por esta clase de productos químicos.

La acumulación de contaminantes en los lagos, ríos y mares provoca diferentes efectos en sus características físicas, químicas y biológicas de diferente manera, en casos como los de algunas partículas sedimentables o de colores sus efectos son

¹² Contaminación por detergentes

¹³ Plomo, cadmio, mercurio



limitados o de pocas consecuencias y en otros casos como el cambio de temperatura o putrefacción de materia orgánica causa efectos dañinos transitorios pero severos. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda [Bioquímica de Oxígeno, DBO](#)) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción.

4.6 Principales fuentes de contaminación

Las principales fuentes de contaminación del agua son los desechos industriales, el empleo de plaguicidas y fertilizantes agrícolas y el uso doméstico¹⁴.

4.6.1 Desechos industriales en el agua.

La actividad industrial, especialmente la producción de alimentos y la manufactura química, generan una gran variedad de desechos que pueden ser descargados en las corrientes de aguas. Muchos desperdicios industriales son compuestos orgánicos que pueden ser degradados por las bacterias, pero muy lentamente, estos compuestos también pueden reaccionar con el cloro que se utiliza como desinfectante del agua potable, el resultado de semejante reacción es la producción de compuestos orgánicos que huelen y saben mucho peor que el producto de desecho original.

Una de los venenos industriales acarreados por el agua es el plomo, su fuente predominante ha sido la tubería utilizada anteriormente en las redes de distribución del agua. Más recientemente, el rociado de arseniato de plomo como insecticida ha contaminado aguas superficiales y profundas tanto con plomo como con arsénico. El plomo es un veneno acumulativo, e inclusive pequeñas concentraciones, si está presente constantemente en el agua potable, podría causar enfermedades graves e incluso la muerte.

¹⁴ Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001



4.6.2 Plaguicidas

Los plaguicidas son productos utilizados en la agricultura para evitar fauna nociva y enfermedades en los cultivos. Al pulverizar los plaguicidas, gran parte de ellos se vierten sobre el suelo, contaminando así las aguas superficiales y las aguas subterránea.

En el agua de consumo humano su nocividad es producida por su elevada toxicidad y a su persistencia, sobre todo en lo que se refiere a los plaguicidas organoclorados, ya que tiene gran estabilidad química. Los plaguicidas son variados y numerosos según sea su acción, sus efecto, sus características químicas, su toxicidad, pero parece ser que muchos de ellos poseen propiedades mutagénicas. En México no existen normas para el control de los agroquímicos¹⁵ y la descarga por fuentes dispersas, en 1978 se publicó el primer catalogo oficial de plaguicidas, el cual se actualiza anualmente.

En la edición de 1995 se establece la prohibición y el uso restringido bajo supervisión de personal autorizado de los plaguicidas que se muestran en la tabla 4.4

Tabla No. 4.4 Plaguicidas prohibidos y de uso restringidos en México

PLAGUICIDAS PROHIBIDOS	PLAGUICIDAS DE USO RESTRINGIDOS
Acetato o propionato de fenil mercurio	1,3-dicloropropeno
Ácido 2,4,5-T	Alaclor
Aldrin	Aldicarb
BHC ^a	Bromuro de metilo
Cianofos	Clordano
cloranil	Cloropicrina
DBCP	Dicofol
Dialaliafor	Forato
Dieldrin	Fosfuro de aluminio
Dinoseb	Isotiocianato de metilo
Endrin	Lindano
EPN ^a	Metam sodio
Erbon	Metixicloro
Formotion	Mevinfos
Fluocetato de sodio	Paraquat
Fumisel	Pentaclorofenol

Fuente:

Francisco Unda Opazo, *Ingenieria Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, Mexico, Limusa, 1993

¹⁵ Herbicida, plaguicida, fungicidas, insecticidas



Se entiende por plaguicidas restringidos aquellos que solo podrán ser adquiridos en las comercializadoras mediante la presentación de una recomendación estricta de un técnico oficial o privado que ha sido autorizado por el gobierno federal, por la cual, su manejo y aplicación se efectúan bajo responsabilidad del técnico autorizado, en México se comercializan y se autorizan 7 insecticidas, 4 herbicidas y 3 fungicidas prohibidos, retirados o de uso muy restringido por otros países, en la tabla 4.5 Se muestran algunos plaguicidas restringidos y autorizados en México¹⁶.

Tabla No.4.5 Plaguicidas autorizados o de uso restringidos en México pero que están prohibidos, retirados o muy restringidos en otros países

NOMBRE	TIPO	PAÍSES EN LOS QUE SE ENCUENTRA PROHIBIDO, RETIRADO O MUY RESTRINGIDO.
2,4-D	Herbicida.	Guatemala, EUA.
Aldicarb ^a	Insecticida o acaricida	Austria, Bélgica, Alemania, Israel, Noruega y Filipinas.
Captofol	Fungicida	España.
Carbaril	Insecticida o acaricida	Alemania.
Clordano ^a	Insecticida o acaricida	España.
Diclorvos	Insecticida o acaricida	Reino Unido.
Dicofol ^a	Insecticida o acaricida	España.
Dimetoato	Insecticida o acaricida	Chipre, EUA.
Endosulfán	Insecticida o acaricida	Argentina, Dinamarca, Filipinas, Finlandia, Hungría, Noruega, Portugal, Reino Unido, Singapur, ex Yugoslavia.
EPN ^a	Insecticida o acaricida	Alemania, India, Malasia, Nueva Zelanda, Filipinas.
Fenitroton	Insecticida o acaricida	Reino Unido.
Folpet	Fungicida	Finlandia.
Forato ^a	Insecticida o acaricida	Malasia.
Lindano ^a	Insecticida o acaricida	Argentina, Bélgica, Bulgaria, Canadá, Colombia, Chipre, Ecuador, Alemania, Filipinas, Hungría, Israel, Japón, Nueva Zelanda, Singapur, EUA, ex Yugoslavia, ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.
Malation	Insecticida o acaricida	Reino Unido.
Maneb	Fungicida	Ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.
Metomilo	Insecticida o acaricida	Malasia.
MSMA	Herbicida	Argentina.
Paraquat ^a	Herbicida	Finlandia, Hungría, Israel, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Suecia.
Pentacloro-fenol ^a	Fungicida	Reino Unido
Quintozeno ^a	Fungicida	España
Simazina	Herbicida	Reino Unido.
Trifluralina	Herbicida	Guatemala, EUA.

Fuente: Francisco Unda Opazo, *Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, México, Limusa, 1993

¹⁶Unda Opazo, *Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, Mexico, Limusa, 1993



4.6.3 Legislación

Tabla No.4.6 Normas oficiales Mexicanas

Contaminación del agua		D. O. F.
NOM-001-SEMARNAT-1996	ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.	06/II/1997
NOM-002-SEMARNAT-1996	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.	03/VI/1998
NOM-003-SEMARNAT-1997	ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.	21/IX/1998
PROY-NOM-088-ECOL-1994	ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES PROVENIENTES DE TERMINALES DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS.	22/IX/1994
NOM-003-CNA-1996	REQUISITOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS.	03/II/1997
NOM-004-CNA-1996	REQUISITOS PARA LA PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS DURANTE EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA Y PARA EL CIERRE DE POZOS EN GENERAL.	08/VIII/1997
NOM-127-SSA1-1994	SALUD AMBIENTAL. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN.	18/II/1996

Fuente <http://www.semarnat.gob.mx> consultado el 22 de junio del 2008.

De acuerdo con la ley general del equilibrio ecológico para la protección del ambiente (LGEEPA), se expiden normas que establecen los niveles máximos permisibles de contaminantes de las descargas en aguas residuales reguladas por aguas y bienes nacionales, en donde de no cumplirse con los parámetros establecidos, se tiene que hacer un tratamiento al agua para que pueda ser descargada, véase tabla 4.6.



4.7 Contaminación por ruido.

El sonido se debe a la fluctuación de ondas de presión en el aire que son registradas por nuestros oídos y el sistema nervioso. Por ruido se entiende un sonido indeseable para la persona que lo escucha y, por lo general, tiene una o varias de las siguientes características: es duradero, de fuerte intensidad, elevada frecuencia, caótico. El ruido escuchado continuamente resulta dañino para la salud y disminuye la calidad de vida, posee tres cualidades: intensidad, tono y timbre; La intensidad se relaciona con la energía liberada por la fuente emisora y con la distancia

a la cual se detecta, de tal manera que un sonido puede ser fuerte, débil o moderado, nuestro oído no percibe sonidos de todas las intensidades; aquéllos que son menores a un cierto nivel no son registrados.

La intensidad mínima de percepción se denomina umbral auditivo, éste varía para cada persona con la edad y depende de la frecuencia del sonido, la máxima intensidad que puede soportar el oído sin dañarse se denomina umbral de dolor, varía para cada persona y es prácticamente independiente de la frecuencia del sonido.

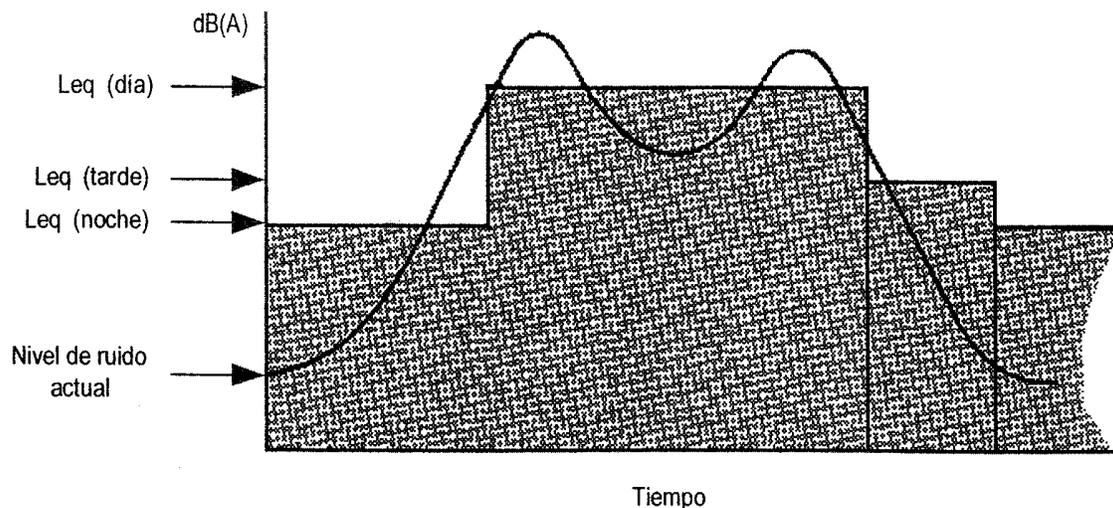
El tono, de un sonido queda determinado por su frecuencia, si ésta es elevada (ondas cortas) se dice que el sonido es agudo, si es baja, el sonido se clasifica como grave. La frecuencia se mide en ciclos/seg lo que denomina Hertz (Hz). El oído humano detecta ondas sonoras que vibran entre 20 y 200 Hz. A frecuencias altas el umbral auditivo es mayor que para altas, es decir, se requiere mayor intensidad para percibir un sonido grave que uno agudo.

El oído humano también puede percibir el timbre de un sonido, por ello es posible distinguir la fuente de dos sonidos de igual intensidad y frecuencia, por ejemplo, es posible diferenciar de que instrumento musical provienen dos notas igualmente fuertes y del mismo instrumento.



4.7.1 Niveles de exposición de sonido

Para niveles sonoros constantes se evalúa el daño en forma directa, en cambio para niveles variable de ruido debe medirse en diversas ocasiones y calcular el nivel sonoro equivalente (NSCE o L_{eq}) que representa la exposición a un sonido con la misma cantidad de energía emitida en la figura 4.3 muestran los niveles equivalentes de ruido en función del tiempo.



Las fluctuaciones de ruido producen un ruido equivalente: o L_{eq} .

Fuente: Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001

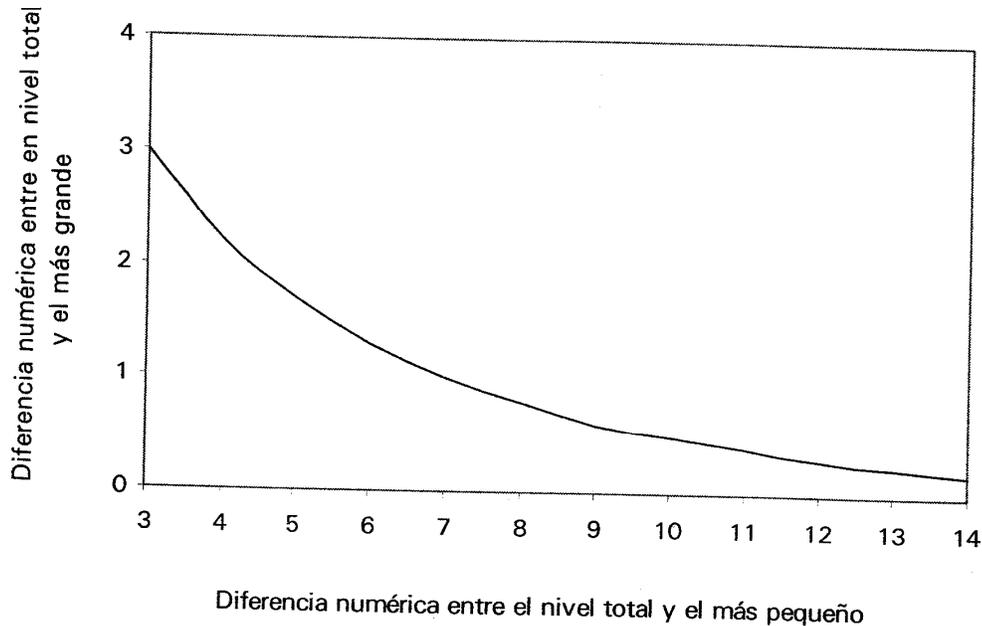
Esta gráfica es una medida del volumen de ruido percibido por un hombre. La presión del ruido y sus valores promedio se determinan por un periodo de 24 horas y es expresado en decibeles.

La figura 4.4 muestra el tiempo máximo de exposición al ruido continuo. Si el sonido es de corta duración, de menos de un segundo, se llama sonido impulsivo o impulso,



debido a su corta duración del orden de 70 milisegundos, el oído es menos sensible para percibir el volumen de estos sonidos.

Figura No.4.4 Nivel equivalente de ruido, NSCE o L_{eq}



Fuente: Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México, Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001

Otro parámetro es el nivel de exposición sonora SEL por sus siglas en inglés, el cual se define como el sonido que tiene la misma cantidad de energía acústica que el sonido original a nivel constante en un segundo. Esta medición se emplea para describir la energía sonora de un solo evento, de esta manera el contenido de energía de distintos tipos de sonido pueden ser comparados fácilmente.

4.7.2 Fuentes de ruido

Las fuentes de ruido en las ciudades son vehículos, aviones, industrias y vecindarios. El ruido en los vehículos es la principal fuente, es asociado con el tránsito intenso, las vibraciones que provocan los camiones de carga y el paso del tren. El ruido en las



industrias básicamente proviene de descargas de gases y vapores a la atmosfera, circulación de fluidos en conductos (engranes). En el último caso incluyen una diversidad de factores como son las construcciones, demoliciones, sistemas de aire, festivales, eventos deportivos, etc¹⁷.

4.7.3 Efectos que causan las fuentes de ruido

a) *Traumatismo acústico*. Es resultado de una o pocas exposiciones a ruido sumamente intenso, por la general arriba de 120 dB durante periodos relativamente cortos, por ejemplo, durante una explosión. Se traduce en una lesión física inmediata e irreversible del órgano auditivo como dislocación de los huesecillos del oído medio y ruptura del tímpano.

b) *Aumento temporal del umbral de audición*. Ocurre cuando hay exposición a un ruido intenso, arriba de 85 dB, por cierto tiempo. Como resultado, aumenta la intensidad mínima percibida pero, al cabo de algún tiempo, este efecto se detiene.

c) *Aumento permanente del umbral de audición*. Ocurre en el caso de una exposición similar a la anterior, pero no hay retorno a la sensibilidad inicial y la lesión ocasionada al órgano de corti es permanente.

4.7.4 Prevención a la fuente de ruido

Lo mejor para prevenir el ruido en ciudades es la planeación adecuada del uso del suelo para impedir que zonas sensibles al ruido quede cerca de aeropuertos, fábricas, carreteras, o alguna otra fuente importante de ruido. El concepto de zonas de ruido es útil en la planeación ya que debe prestárseles atención especial para lograr una ubicación acústicamente óptima.

En la zona industrial, es necesario trazar un plan de acción que considere: establecimiento del nivel admisible de ruido, estimación de los niveles de ruido de las futuras instalaciones, detección de las fuentes probables, alternativas de solución. En

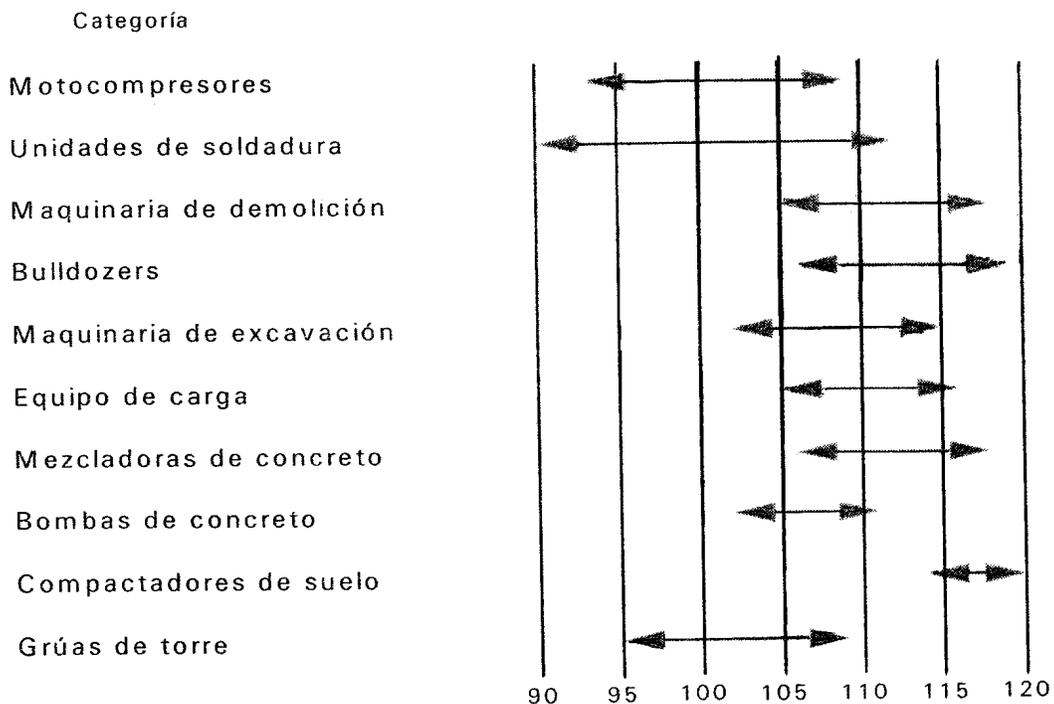
¹⁷ Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México, Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001



el caso de ruido industrial el tamaño mínimo de la zona de restricción está determinado por la línea en la cual hay 50 dB, punto a partir del cual es aceptable tener asentamientos humanos.

La maquinaria debe ser especialmente reglamentada por su emisión de ruido como se muestra en la figura 4.5.

Figura No. 4.5 Maquinaria reglamentaria



Fuente: Blanca Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*, México, Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001

Para reducir la cantidad de ruido producido por herramientas y equipo se debe: reglamentar la manufactura y venta de herramientas y equipo ruidoso, además otorgar licencias para el uso y venta de los mismos.

En la zona de tráfico, al lado de los caminos son aéreas a las que se debe prestar atención especial por lo que se debe evitar ubicar viviendas y edificaciones sensibles al ruido, el ancho de la zona varía de 200 a 600 metros y lo que se busca es tener en la periferia valores menores a 50 dB.



4.7.5 Legislación

El ruido es otra forma importante de contaminación del medio ambiente, en nuestro país existen dos instituciones gubernamentales encargadas de reglamentarla, la Semarnat y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). La primera establece normas que limitan el nivel sonoro de las emisiones acústicas hacia el medio ambiente, la segunda se preocupa por la seguridad y la salud de los trabajadores y establece normas que limitan la dosis que puede recibir un empleado durante la jornada laboral. La tabla 4.7 presenta algunas normas emitidas para la reglamentación del ruido.

Tabla No. 4. 7 Normas Oficiales Mexicanas

Contaminación por ruido		D.O.F
NOM-080-ECOL-1994	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS, MOTORES Y TRICICLOS MOTORIZADOS EN CIRCULACIÓN Y SU MÉTODO DE MEDICIÓN	13/01/95
NOM-081-ECOL-1994	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO DE LAS FUENTES FIJAS Y MÉTODO DE MEDICIÓN	13/01/95
NOM-082-ECOL-1994	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE RUIDO DE LAS MOTOCICLETAS Y TRICICLOS MOTORIZADOS NUEVOS EN PLANTAS Y SU MÉTODO DE MEDICIÓN.	
NOM-011-STPS-1993	RELATIVAS A LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS CENTROS DE TRABAJO DONDE SE GENERE RUIDO	22/11/93
NOM-080-STPS-1993	HIGIENE INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTE LABORAL. DETERMINACIÓN DEL NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE AL QUE SE EXPONE LO TRABAJADORES EN LOS CENTROS DE TRABAJO	12/11/93

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx/LEYESYNORMAS/NORMASOFICIALESMEXICANASVIGENTES/Pages/contaminacionporruido.aspx>, <http://www.stps.gob.mx/>, consultado el día 24 de junio de 2008



4.8 Contaminación del suelo.

Los suelos tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes, pero además están sometidos a distintas variaciones en la humedad, el pH y las condiciones redox. El resultado de un espacio que se encuentra contaminado, afecta a varios medios como el aire, las aguas superficiales, las aguas subterráneas y los receptores potenciales. Además, es una contaminación dinámica porque al moverse los contaminantes en el terreno a través de las capas más permeables se facilita su dispersión y esto hace que aumente el área afectada.

4.8.1 Fuentes de contaminación del suelo

La contaminación del suelo debida a fuentes antropogénicas (causadas por el hombre) se debe fundamentalmente a ciertas prácticas agrícolas, como el uso abusivo de fertilizantes y pesticidas inorgánicos, así como el uso de aguas residuales y abonos orgánicos, las explotaciones mineras y de procesamiento que incorporan al suelo elementos tóxicos procedentes de las minas, el transporte, como lo demuestran los suelos contaminados en los alrededores de carreteras, los procesos industriales, debido, por una parte, a las emisiones que pueden depositarse en suelos y vegetación, y por otra a los residuos industriales.

4.8.2 Tipos de contaminantes

Los contaminantes más habituales que se pueden encontrar en los suelos son los siguientes:

- a) metales pesados
- b) hidrocarburos no halogenados
- c) hidrocarburos halogenados
- d) aceites minerales
- e) pesticidas



4.8.3 Prevención de la contaminación

La prevención, en primer lugar, debe de practicarse en origen, minimizando la producción de residuos a través de cambios practicados en los productos y procesos industriales. Otro paso a seguir es tomar medidas de aislamiento y control, a lo largo de los procesos productivos de todas las actividades industriales sospechosas de poder alterar las propiedades del suelo, así como en el almacenamiento y transporte de residuos que puedan contaminar el mismo.

Para prevenir la degradación química es preciso conocer las características del suelo, ya que cada suelo tiene una capacidad amortiguadora de la contaminación, y preveer cómo va a responder el suelo frente a procesos como los siguientes:

- a) ácido-base, en este caso la respuesta dependerá del grado de saturación y de su capacidad de intercambio catiónico. Si la adición de ácido es grande, la capacidad de neutralización del suelo dependerá del contenido en minerales que tenga.
- b) precipitación-disolución, dependerá de su capacidad de reacción con los compuestos para precipitar como fosfatos, arseniatos y seleniatos; si son metales, precipitarán como sulfuros.
- c) adsorción-desorción, dependerá de las propiedades del suelo, si contiene caliza activa se verá favorecida la adsorción.
- d) complejación, dependerá de la capacidad de los metales presentes en el suelo para formar complejos.



4.8.4 Legislación

Tabla num.4.8 NOM contaminación al suelo

SUELOS		D.O.F.
NOM-020-RECNAT-2001 NOM-020-SEMARNAT-2001	PROCEDIMIENTOS Y LINEAMIENTOS QUE SE DEBERÁN OBSERVAR PARA LA REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS TERRENOS FORESTALES DE PASTOREO.	10/DIC/01
NOM-021-RECNAT-2000 NOM-021-SEMARNAT-2000	ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS.	31/DIC/02
NOM-023-RECNAT-2001 NOM-023-SEMARNAT-2001	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBERÁ CONTENER LA CARTOGRAFÍA Y LA CLASIFICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LOS INVENTARIOS DE SUELOS.	10/DIC/01
NOM-060-ECOL-1994 NOM-060-SEMARNAT-1994	ESPECIFICACIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS ADVERSOS OCASIONADOS EN LOS SUELOS Y CUERPOS DE AGUA POR EL APROVECHAMIENTO FORESTAL.	13/MAY/94

RESIDUOS PELIGROSOS, SÓLIDOS MUNICIPALES Y BIOLÓGICO INFECCIOSOS		D.O.F.
NOM-052-SEMARNAT-2005	QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS, EL PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y LOS LISTADOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	23/JUN/06
NOM-053-ECOL-1993 NOM-053-SEMARNAT-1993	PROCEDIMIENTO PARA LLEVAR A CABO LA PRUEBA DE EXTRACCIÓN PARA DETERMINAR LOS CONSTITUYENTES QUE HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE.	22/OCT/93
NOM-054-ECOL-1993 NOM-054-SEMARNAT-1993	ANEXO 1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA INCOMPATIBILIDAD ENTRE DOS O MÁS RESIDUOS CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS POR LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-1993.	22/OCT/93
NOM-055-SEMARNAT-2003	ANEXOS 1 2 3 4 5 QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS QUE DEBEN REUNIR LOS SITIOS DESTINADOS AL CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS EXCEPTO DE LOS RADIATIVOS.	03/NOV/04
NOM-056-ECOL-1993 NOM-056-SEMARNAT-1993	REQUISITOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	22/OCT/93
NOM-057-ECOL-1993 NOM-057-SEMARNAT-1993	REQUISITOS QUE DEBEN OBSERVARSE EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE CELDAS DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO PARA RESIDUOS PELIGROSOS.	22/OCT/93
ANEXO 1		
NOM-058-ECOL-1993 NOM-058-SEMARNAT-1993	REQUISITOS PARA LA OPERACIÓN DE UN CONFINAMIENTO CONTROLADO DE RESIDUOS PELIGROSOS.	22/OCT/93



NOM-083-SEMARNAT-2003	ESPECIFICACIONES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MONITOREO, CLAUSURA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y DE MANEJO ESPECIAL.	20/OCT/04
NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002	PROTECCIÓN AMBIENTAL-SALUD AMBIENTAL-RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS-CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO. (CLAVE ANTERIOR NOM-087-ECOL-SSA1-2002)	17/FEB/03
NOM-098-SEMARNAT-2002	PROTECCIÓN AMBIENTAL – INCINERACIÓN DE RESIDUOS, ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN Y LÍMITES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES.	01/OCT/04
NOM-133-ECOL-2000 NOM-133-SEMARNAT-2000	PROTECCIÓN AMBIENTAL - BIFENILOS POLICLORADOS (BPCs) ESPECIFICACIONES DE MANEJO.	10/DIC/01
NOM-141-SEMARNAT-2003	MODIFICACIÓN DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 05-MARZO-2003 QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SITIO, PROYECTO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y POSTOPERACIÓN DE PRESAS DE JALES.	13/SEP/04
NOM-145-SEMARNAT-2003	CONFINAMIENTO DE RESIDUOS EN CAVIDADES CONSTRUIDAS POR DISOLUCIÓN EN DOMOS SALINOS GEOLÓGICAMENTE ESTABLES.	27/AGT/04

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx>. Consultada el día 22 de junio 2008

4.9 Relación de los impactos ambientales con la tecnología DMS

Los desechos de la corriente de salida producidos por la tecnología DMS para el tratamiento de RSM son CO, CO₂, O₂, NO_x, dioxinas y furanos, estos afectarían al suelo, aire, y agua, por esta razón se escribe este capítulo para estudiar los posibles impactos que provocaría la tecnología.

Para estos gases se da un tratamiento previo a la corriente de salida, con objeto de evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, la tecnología DMS da un tratamiento necesario mediante el uso de equipos de control, para eliminar el material particulado y los gases nocivos (SO_x, NO_x, etc.). Este objetivo se consiguió mediante el uso de equipos lavadores de gases, filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones, como se utiliza en este proceso. Un ventilador de tiro forzado sopla los gases ya



limpios de partículas sólidas hacia un reactor catalítico para pasarlos después a la chimenea de gases, evitando la emisión de las gases de efecto invernadero.

4.10 Conclusión del capítulo

Este capítulo está enfocado a los posible impactos que pudiera tener la tecnología DMS, tomando en cuenta la preservación del medio ambiente, este proceso tecnológico no causa ningún tipo de impacto a pesar de que libera gases de efecto invernadero, dioxinas y furanos que se consideran contaminantes atmosféricos, con el objeto de evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera la tecnología DMS da un tratamiento previo a estos gases, la no contaminación de estos gases se consigue mediante el uso de equipos de control y bajo las normas internacionales que rigen al Japón como lo es la norma ambiental No. 25 de la Agencia del Medio Ambiente, demostrando así que es una alternativa viable para el tratamiento de los residuos sólidos, ya que trata de evitar al máximo la contaminación atmosférica.



Capítulo 5

Protocolo de Kyoto



5.1 Antecedentes del protocolo de kyoto

El protocolo de Kyoto ha establecido como objetivo general la lucha contra el cambio climático mediante una acción internacional de reducción de las emisiones de determinados gases de efecto invernadero responsables del calentamiento del planeta. En Berlín en Marzo de 1995, se negoció un protocolo que contenía medidas de reducción de las emisiones en los países industrializados para el período posterior al año 2000. Tras largos trabajos, el 11 de diciembre de 1997 se aprobó el protocolo de Kyoto, que se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

Dixido de carbono (CO_2)

Metano (CH_4)

Óxido nitroso (N_2O)

Hidrofluorocarbonos (HFC)

Perfluorocarbonos (PFC)

Hexafluoruro de azufre (SF_6).

La principal característica del protocolo es que contiene objetivos obligatorios relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Estos objetivos van desde -8% hasta +10% en los niveles de emisiones contaminantes de los diferentes países, en 1999 “con miras a reducir el total estas a un nivel no mayor de 5% al de 1990, en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012”. En casi todos los casos, incluso en los que se ha fijado un objetivo de +10% de los niveles de 1990, los límites exigen importantes reducciones de las emisiones actualmente proyectadas. Se prevé el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para los períodos de compromiso posteriores a 2012. Éstos se negociarán con suficiente antelación respecto a los períodos afectados.

Los compromisos contraídos en virtud del protocolo varían de un país a otro. El objetivo global del 5% para los países desarrollados debe conseguirse mediante recortes (con respecto a los niveles de 1990) del 8% en la Unión Europea, Suiza y la mayor parte de



los países de Europa central y oriental; 6% en el Canadá; 7% en los Estados Unidos (aunque los Estados Unidos han retirado su apoyo al protocolo), y el 6% en Hungría, Japón y Polonia. Nueva Zelandia, Rusia y Ucrania deben estabilizar sus emisiones, mientras que Noruega puede aumentarlas hasta un 1%, Australia un 8% (posteriormente retiró su apoyo al Protocolo) e Islandia un 10%. La UE ha establecido su propio acuerdo interno para alcanzar su objetivo del 8% distribuyendo diferentes porcentajes entre sus Estados Miembros. Estos objetivos oscilan entre recortes del 28% en Luxemburgo y del 21% en Dinamarca y Alemania, a un aumento del 25% en Grecia y del 27% en Portugal.

Para compensar las duras consecuencias, el acuerdo ofrece flexibilidad en la manera en que los países pueden cumplir sus objetivos. Por ejemplo, pueden compensar parcialmente sus emisiones aumentando los “sumideros” –bosques, que eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera. Ello puede conseguirse bien en el territorio nacional o en otros países. Pueden pagar también proyectos en el extranjero cuyo resultado sea una reducción de los gases de efecto invernadero.

El protocolo de Kyoto¹ ha avanzado lentamente: se encuentra todavía en lo que se conoce con el nombre de “fase de ratificación”, y es un acuerdo complejo. El protocolo no sólo debe ser eficaz frente a un problema mundial también complicado; debe ser de igual forma políticamente aceptable. En consecuencia, se ha multiplicado el número de grupos y comités creados para supervisar y arbitrar sus diferentes programas, e incluso después de la aprobación del acuerdo en 1997, se consideró necesario entablar nuevas negociaciones para especificar las instrucciones sobre la manera de instrumentarlo. Estas normas, adoptadas en 2001, se conocen con el nombre de “Acuerdos de Marrakech”.

Los tratados internacionales deben intentar de conseguir un delicado equilibrio. Los que se proponen lograr un apoyo general, muchas veces no son lo bastante enérgicos como para resolver los problemas que procuran solucionar, como se consideró que la Convención Marco presentaba esa deficiencia, a pesar de sus numerosas y valiosas disposiciones, se creó el protocolo con la finalidad de complementarla. En cambio, los

¹ Fuente: http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/bonos_de_carbono.consultado el día 20 de Agosto 2008



tratados con disposiciones firmes pueden tener problemas a la hora de conseguir el apoyo necesario para que resulten eficaces.

5.2 Bonos de carbono

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de apoyo y estímulo para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero.

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono establece que por un bono de carbono se tiene el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono y esto permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Mientras que algunos le llaman “mecanismo de descontaminación”, el término es considerado por otros como un error dado que se han ideado para intentar reducir los niveles de dióxido de carbono, o CO₂, pero el dióxido de carbono no es un gas contaminante sino que, muy lejos de ello, es la base fundamental de la vida vegetal y, por tanto, de la vida animal sobre el planeta. Sin CO₂, no existiría vida en la Tierra.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países, anexo I, (industrializado, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kyoto). Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, forestación, limpieza de lagos y ríos, etc.



5.3 Relación de México con el protocolo Kyoto

A pesar de que México es miembro del protocolo, ocupa el lugar número trece de los países contaminantes de bióxido de carbono y todavía no tiene un programa claro para el desarrollo de las energías renovables, cada año envía a la atmósfera el 2% del total de los gases que se emiten, lo que significa cuatro toneladas de bióxido de carbono por habitante. Por ello, la Secretaría de Medio Ambiente se ha fijado metas a corto plazo.

En México, como nación en desarrollo, sólo aplican los proyectos para emitir CER mediante los programas llamados Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), con los que se busca invertir en proyectos que reducen emisiones.

Estos esquemas básicamente se definen como la compra por parte de las economías industrializadas de permisos para compensar las emisiones de CO₂ de sus empresas y sistemas energéticos.

Uno de los grandes compradores de los bonos de carbono es Japón, cuyo Banco Japonés de Cooperación Internacional (JBIC) tiene asignados millonarios fondos para adquirir esos créditos en países en desarrollo donde sus empresas tienen operaciones.

En México, el JBIC tiene etiquetados 100 millones de dólares en proyectos de desarrollo, que incluyen apoyos para los MDL. Uno de estos proyectos es el del relleno sanitario del municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua, donde el banco comprará 700,000 toneladas de CO₂ por año. Los 100 millones de toneladas de CO₂ que podrían generarse significarían ingresos de hasta 1,000 millones de dólares a precios conservadores.

Por su parte, Gabriel Quadri, director general de Eco-Securities México, es un intermediario entre las instituciones, los compradores y los vendedores de bonos de carbono, dice que “los proyectos más interesantes en México serán los de rellenos sanitarios y energía renovable”.



5.4 Conclusión del capítulo

En el capítulo se analizó el protocolo de Kyoto que está desarrollado para combatir los cambios climáticos mediante una acción internacional de reducción de las emisiones de determinados gases de efecto invernadero responsables del calentamiento del planeta.

El protocolo tiene objetivos obligatorios para las emisiones de gases de efecto invernadero. Los compromisos del protocolo varían de un país a otro, el objetivo global es del 5% para los países desarrollados que debe conseguirse mediante recortes de las emisiones con respecto a los niveles del año 1990.

Uno de los tres mecanismos propuestos en el protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones contaminantes son los bonos de carbono, que son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente.

México, es miembro del protocolo, sin embargo, todavía no tiene un programa claro para el desarrollo de las energías renovables, pero esto no es desalentador para México, ya que cuenta con uno de los proyectos más interesantes, (los rellenos sanitarios). Uno de los principales compradores de los bonos para México es Japón, cuyo banco asigna millones de dólares para adquirir estos créditos.



Capítulo 6

Incineración



En este capítulo se explica brevemente el desarrollo histórico del proceso de incineración y se revisaran las generalidades para poder analizarlas y comprarlas con la tecnología de DMS.

6.1 Concepto de incineración

La incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química en exceso de oxígeno. La incineración utiliza altas temperaturas, una atmósfera oxidante y en ocasiones agitación para destruir los residuos. Este proceso es muy utilizado para tratamiento de residuos sólidos urbanos, industriales peligrosos y hospitalarios. Los productos finales son básicamente gases de combustión, efluentes líquidos y cenizas (residuos no combustibles).

Este método consiste, fundamentalmente en la reducción del volumen y por consiguiente, el del peso de la masa, así como la transformación de la misma de los desechos en materia relativamente no combustible.

El objetivo de la incineración es reducir el volumen de los residuos sólidos urbanos transformándolos en materiales sólidos, gaseosos y líquidos, que pueden ser más manejables para su disposición final. Durante el proceso de incineración los residuos sólidos reciben un tratamiento térmico en presencia de aire transformándose en constituyentes gaseosos, los cuales se liberan a la atmósfera y en un residuo sólido relativamente no combustible. Durante la combustión de los residuos en un incinerador se genera calor, lo que se conoce como “calor de combustión”, el cual puede ser aprovechado como fuente de energía para el mismo proceso o para otros como el calentamiento de agua o la generación de vapor.



6.2 Antecedentes de la incineración

Se puede decir que Inglaterra fue la cuna de la incineración. El señor Alfred Fryer construyó, en 1874 en Nottingham, el primer incinerador diseñado específicamente para tratar la basura de recolección municipal. Dos años más tarde Fryer construyó una segunda instalación en Manchester, introduciendo dos celdas en el diseño del horno. En estos hornos se atizaba el fuego manualmente, y con cuidadosa operación se lograba un resultado satisfactorio, en el año de 1900 existían en Gran Bretaña más de 40 incineradores municipales. Par el año 1885, el señor Charles Jones, de Ealing, Inglaterra, obtuvo una patente cuyo principio permitía una combustión secundaria de los gases en la base de la chimenea, de tal suerte que eran quemados los de baja temperatura de combustión. Sin embargo, la experiencia demostró que mantener este fuego secundario es excesivamente costoso y prohibitivo.

Alrededor de 1890, Inglaterra inició el uso de corrientes forzadas de aire en el horno incinerador para acelerar la tasa de combustión, en el año 1920 disponía de más de 200 plantas municipales de incineración. Muchas de ellas utilizaban la energía calórica excedente para la calefacción de los edificios o generar vapor tendente a producir energía eléctrica o para emplearlo en otros usos.

Los primeros incineradores construidos en Estados Unidos datan del año 1895 en Governors Island, Nueva York Harbor, Nueva York y en Allegheny, Pennsylvania, los cuales fueron diseñados para quemar la basura junto con carbón adicional. Tiempo después fueron construidos incineradores municipales en Des Moines, Elwood, Indiana y Minneapolis.

En 1906 se creó el primer incinerador tipo británico de alta temperatura en Westmount, un suburbio de Montreal, Quebec, estos hornos tipo británico se cargaban y atizaban a mano. Debido al aumento del costo de la mano de obra fue necesario mecanizar la operación de los hornos incineradores, en E.U. a partir de 1910, se diseñaron una serie de equipos mecánicos de carga y métodos para atizar o activar el fuego.



Las plantas de incineración bien proyectadas representan una muy buena solución, desde el punto de vistas sanitario para eliminar los RSM y que sea posible aprovechar la energía calórica disponible en la basura a través de un horno incinerador bien diseñado, proyectado y operado, siempre que el contenido de humedad y cenizas y el calor de combustión de la basura o desperdicios así lo permitan, energía que pueda ser utilizada con propósitos municipales, e industriales.

6.3 Factores que interviene en el proceso de la incineración

Es importante conocer los principios de la combustión y su relación con los factores, antes de entrar a analizar las características de las estructuras u hornos con el fin de disponer de las antecedentes suficientes para interpretar el proceso y justificarlo.

6.3.1 Combustión de elementos simples.

El material combustible de los desperdicios está constituido por una serie de compuestos orgánicos, tales como papeles, trapos, cueros, gomas, maderas, huesos, verduras, pasto, paja , grasa, aceite, productos del petróleo y otros residuos similares. Las moléculas de cada uno de estos diferentes compuestos contienen una porción específica de carbono e hidrogeno, representando ellos la principal fuente de energía calórica.

En el proceso de combustión hay tres elementos fundamentales que entregan energía clórica: carbono, hidrógeno y azufre.

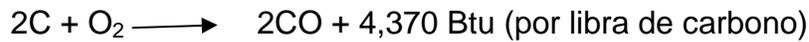
El carbono es la principal fuente de energía calórica, y cuando arde en presencia de suficiente oxígeno se forma anhídrido carbónico.



Se requieren 2.7 libras de oxígeno u 11.6 libras de aire para combinarse estequiomètricamente con una libra de carbono (combinación químicamente teórica



completa). Si se encuentra disponible solo el aire suficiente para formar monóxido de carbono, la cantidad de energía calórica disponible (calor de combustión) corresponde 4,370 Btu por libra de carbono, es decir, 2,430 Kcal por Kg de carbono, y por consiguiente se tiene disponible aproximadamente un 30% de la energía calórica, de acuerdo con la siguiente ecuación:



El hidrógeno libre arde con formación de agua. En el proceso de la combustión, una libra de hidrógeno requiere 8 libras de oxígeno, lo que corresponde aproximadamente a 35 libras de aire, y la energía calórica liberada en la reacción es de 60,000 Btu por libra de hidrógeno (calor de combustión).



El azufre se combina con el oxígeno para formar anhídrido sulfuroso. Una unidad de oxígeno en peso se requiere por unidad de azufre, normalmente, la cantidad de azufre que tiene los RSM son tan pequeños que pueden ser desperdiciados en los cálculos correspondientes. Sin embargo, cierto tipo de industrias pueden producir cantidades importantes de azufre, las cuales evidentemente influirán en la operación del incinerador industrial respectivo.

6.4 La incineración de residuos sólidos en la Ciudad de México

Existen dos sistemas de incineración de los residuos sólidos municipales que se diferencian por el requerimiento de tratamiento previo de los residuos. El primer sistema requiere eliminar los elementos no combustibles de los residuos sólidos y además reducir el tamaño de las partículas para su incineración, pero el segundo no

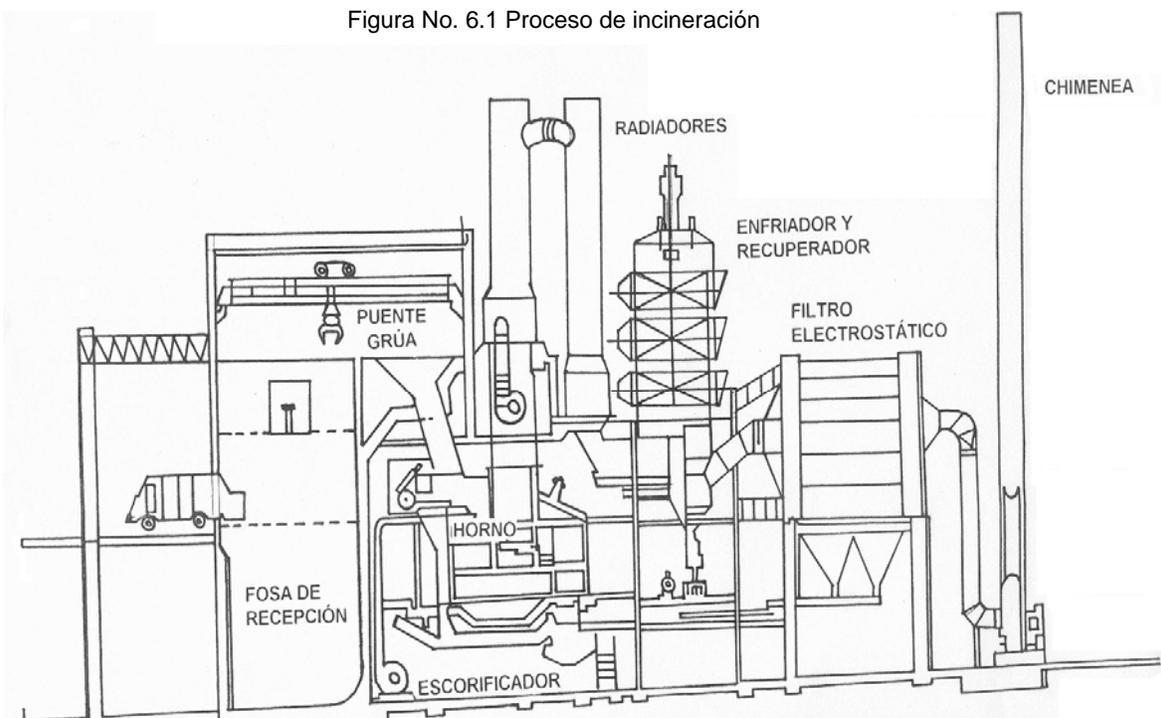
tiene estos requerimientos, por lo que la incineración se hace al total de los residuos sin ningún tratamiento previo. A este segundo método se le denomina incineración en masa.

El proceso de incineración en estudio, es un método que se emplea exclusivamente para la combustión de residuos sólidos municipales en la cual no existe ningún aprovechamiento de la energía producida.

Consta de dos líneas de incineración de capacidad de 50 ton/día cada una, para un total de 100 ton/día durante tres turnos, es decir 4.2 ton/hr, este proceso ha sido dividido de manera general en tres fases:

1. Recepción, preparación y carga de los residuos
2. Combustión y remoción de escorias
3. Tratamiento, control y dispersión de los gases de combustión

6.5 Elementos que constituyen el proceso de incineración



Fuente: Bravo Olguín., *Impacto de las emisiones gaseosa de óxidos de Nitrógeno provenientes de una planta de incineración de RSM, sobre la calidad del aire de la ciudad de México*, Tesis 1997



La figura 6.1(Pg. 116) ilustra el proceso de incineración, el cual nos muestra las principales zonas donde se lleva a cabo el proceso y que serán descritas a continuación.

1. Bascula de piso y control de recibo

El proceso de incineración de los residuos en esta planta, inicia con una primera operación conocida como control de recibo, se realiza con una báscula de piso o plataforma de 50 ton de capacidad. El control es necesario para estabilizar y llevar a cabo el balance entre el material que entra y los materiales no combustibles que salen; así como para registros de peso que también ayudan al control de planta.

2. Fosa de recepción y almacenamiento

Los camiones recolectores se suben por una rampa, hacia la fosa de descarga y almacenamiento, alimentada por cuatro fosas de vaciado desde la cual se ven suministrados los hornos de combustión de manera semiautomática, a través de una grúa de almeja que se desliza sobre un puente de 25m de longitud.

3. Alimentación del horno

Desde la fosa de recepción los residuos son transportados por medio de la grúa hacia la parte superior de la tolva de alimentación del horno, que cuenta con un cierre hidráulico por donde es cargado. La tolva de alimentación tiene la forma de una pirámide trunca que permite que los residuos desciendan por gravedad hacia un conducto vertical de acero el cual desemboca en el interior del horno. Esta tolva, consta en su parte interior de un pistón de empuje de dos pasos que accionan dos cilindros hidráulicos con transmisión oscilante, que acercan los desechos al horno sobre la parte superior de la parrilla.

4. Parrillas de alimentación

La alimentación al horno, es realizado por parrillas las cuales constan de un sistema impulsor de pistón de dos pasos, que permiten empujar los residuos que se



encuentran sobre las filas de parrillas con armazón de barrotes sobrepuestas a un móvil sobre otras fijas, hacia el horno de combustión.

Este sistema de impulsión con los pistones, hace que los residuos descendan gradualmente por el conducto vertical hasta depositarlas sobre las parrillas de alimentación, a demás se carga en uno de los barrotes móviles.

5. Horno de incineración

Esta fase del proceso, consta principalmente de una serie de fenómenos subsecuentes como son los de secado-ignición-combustión, que tiene lugar en el horno del incinerador, el cual está constituido básicamente por las parrillas y las paredes que lo encierran, además de los inyectores de aire primario y secundario, requerido como carburantes durante el proceso de combustión.

6. Inyección de aire

El horno, después de ser alimentado en forma continua con los desechos por incinerar, es imbuido simultáneamente del aire requerido para la combustión, el cual es suministrado por distintos puntos. Una parte que corresponde al aire primario, por cuatro puntos debajo de las parrillas y la otra parte que corresponde al aire secundario inyectado sobre la camada de combustible a través de las paredes del horno, con el propósito de provocar un efecto ciclónico y la turbulencia en la cámara de postcombustión, además de proveer el oxígeno.

7. Quemador auxiliar

El horno, está dotado de un quemador de gas LP de 40 m³/hr que permite el incendio de los desechos, manteniéndose como piloto auxiliar para garantizar la ignición inmediata del material, al inicio de la combustión o imprevisto de apagado de la masa de desechos a incinerar.



8. Removedor de escorias

Por la naturaleza de los desechos incinerados, existen materiales no combustibles que a pesar de las temperaturas elevadas a las que se someten durante la combustión (1000 °C) no logran ser reducidas a cenizas en su totalidad, es decir, se producen una especie de escorias de estos materiales junto con las cenizas propias de la combustión, las cuales son recolectadas debajo de las parrillas y apagadas en un depósito de agua, saliendo en forma de pasta y enviadas mediante transportadores en cadena sin fin, para mezclarlas con el hollín capturado en los electro filtros y en seguida son enviados a un contenedor de acero, para luego disponerlos en un relleno sanitario u otro sitio mediante un control sanitario.

9 .Enfriamiento de los gases

Con el objeto de reducir la temperatura de los gases resultantes de la incineración, que alcanzan temperaturas altas, estos se hacen pasar a través de un sistema de radiadores colocados por encima de la cámara de postcombustión, instalados en serie. El primero de estos radiadores corresponde de 3m de diámetro y 13.3m de altura, el cual suministra a través de un ventilador, un caudal de aire de enfriamiento de 28000 m³/hr y una presión de 280 Pa, el segundo radiador del mismo diámetro y con una altura de 15m es enfriado en sus paredes por un caudal de aire de 34000 m³/h a una presión de 70 Pa.

Mediante estos dos radiadores, la temperatura de los gases logra reducirse de 1000 °C hasta 560 °C, estos equipos de enfriamiento, cuentan con un sistema de válvulas de seguridad para cuando las temperaturas alcanzadas son mayores a 1000 °C.

10. Refrigeración de gases de escape

Además de los radiadores, utilizados en el enfriamiento de los gases, existe un sistema de dos intercambiadores que permite la reducción de su temperatura desde 560 °C, con el objeto de mantener una temperatura a la entrada del electro filtró inferior a los 300 °C operando bajo las siguientes condiciones:



Temperatura de entrada del aire refrigerante 20 °C

Temperatura de salida del aire refrigerante 230 °C

Con la finalidad de obtener mejores rendimientos durante la combustión, en lugar de expulsar el aire caliente del intercambiador al exterior, este es aprovechado en la recirculación como fuente de alimentación de aire primario bajo las parrillas.

11. Filtración de los gases

Por considerar que la incineración de residuos sólidos produce otro residuo compuesto principalmente de una mezcla de partículas sólidas y gases, en donde algunos de ellos se consideran contaminantes de la atmósfera, estos gases producidos, son sometidos a un proceso de tratamiento antes de ser descargados en el ambiente.

Este proceso, es efectuado mediante un filtro electrostático después de que los gases son enfriados, logrando remover las partículas contenidas en el gas producido hasta en un 98%, misma que son depositadas en la tolva de recepción del equipo y posteriormente descargadas en un transportador sin fin, que las mezclara con las escorias no combustibles producidas.

12. Extracción de gases

Durante la operación, la chimenea se llena con los gases que tienen una temperatura mayor que la del aire atmosférico y por consiguiente menor densidad del aire del ambiente y menor presión de gas en el interior de la base de la chimenea. A fin de garantizar el vencimiento del tiro que es mayor en chimeneas bajas, se dispone de un extractor de tiro en el trayecto de los gases que auxilia a la formación de un tiro inducido a través de un sistema, desde la cámara de combustión hasta la boca de la salida.

13. Chimenea

Una vez sometido el gas, a los equipos limpiadores, y tras ser impulsados por los extractores, los gases de combustión producidos son evacuados a través de dos



chimeneas de lamina de 30m de altura y 1.20m de diámetro, para su dispersión natural dentro de la atmósfera.

6.5.1 Emisiones gaseosa provenientes de la incineración

Sin duda, el continuo crecimiento de la población y la concentración industrial, son los principales generadores de una gran cantidad de contaminantes atmosféricos tanto por el continuo flujo vehicular como por los distintos progresos industriales¹.

Por ello, la construcción y funcionamiento de los incineradores de residuos sólidos, han sido considerados de alguna forma, como parte de la contaminación atmosférica y del deterioro del medio ambiente siendo los principales contaminantes generados, los provenientes de las chimeneas y las distintas etapas del proceso durante el tratamiento, ya que por una parte, existen emisión de sólidos y posibles olores contaminantes por la chimenea, mientras que por la otra, existe la posibilidad de contaminación gaseosa, originada por los gases producidos durante el proceso de combustión.

De estos últimos, los contaminantes monitoreados detectados y cuantificados durante la combustión de los residuos sólidos en la planta de incineración son:

Partículas suspendidas totales (PST), ácido clorhídrica (HCL) hidrocarburos (HC), metales pesados y óxidos de nitrógeno (NOx).

6.6 Situación en México

Por lo que respecta a nuestro país, a la fecha no funciona ninguna planta incineradora de desechos sólidos municipales. Aún cuando hace algunos años existió el interés por instalar un incinerador móvil de gran capacidad en la frontera con los Estados Unidos

¹ Fuente: Bravo Olguín., *Impacto de las emisiones gaseosa de óxidos de Nitrógeno provenientes de una planta de incineración de RSM, sobre la calidad del aire de la ciudad de México*, Tesis 1997



de América para el que se invirtieron entre 10 y 12 millones de dólares, nunca se obtuvo el permiso para su funcionamiento y se paró la construcción.

El Departamento del Distrito Federal instaló hace varios años una planta incineradora en la Ciudad de México que sólo se ha utilizado con fines experimentales.

Sin embargo, existen en nuestro país incineradores rotatorios pequeños entre los que podemos citar el de la corporación CIBA-GEIGY, una compañía farmacéutica que lo utiliza para la incineración de los residuos peligrosos generados en sus laboratorios; éste es uno de los más modernos pues se opera a través de un sistema computarizado. Este incinerador es el resultado de tecnología suiza y mexicana desarrollada en la UNAM.

6.7 Costos de Instalación y Funcionamiento

La instalación de una planta de incineración de desechos municipales implica casi siempre un elevado costo de inversión.

El costo de inversión de una planta grande de incineración de residuos sólidos municipales que procese 320,000 toneladas de estos residuos al año es de alrededor de 142 millones de dólares y el costo de tratamiento por tonelada de residuos es alrededor de 60 dólares/tonelada.

Para una instalación mediana que procese 150,000 toneladas/año el costo de inversión es de alrededor de 88 millones de dólares, con un costo de funcionamiento de 70 dólares por tonelada de residuos.

En una instalación pequeña de 90,000 toneladas/año de residuos, el costo de inversión aproximado será de 53 millones de dólares, con un costo de funcionamiento de 80 dólares por tonelada tratada.



6.8 Conclusión del capítulo

Actualmente la incineración es uno de los métodos más utilizados en los países desarrollados para el control de los residuos sólidos municipales. Las ventajas y desventajas con relación al uso de este proceso para el manejo de este tipo de residuos de las ciudades se indican en la tabla 6.1

La principal ventaja del proceso es que reduce el volumen y el peso de los desechos sólidos hasta en un 90%. Sin embargo, entre las desventajas se tiene que es una tecnología muy costosa y en la que no se recuperan básicamente los costos de la inversión, además de que se generan emisiones contaminantes a la atmósfera que se acrecientan con una operación no adecuada del proceso. Aún cuando en el presente se cuenta con equipos que tienen sistemas para un mayor control de las emisiones a la atmósfera, éstos se incrementan en su costo hasta en un 20% con lo que resulta una tecnología casi inaccesible para países en vías de desarrollo, el caso de México.

Tabla num.6.1 ventajas y desventajas de la incineración

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite la reducción del volumen de los desechos sólidos hasta en un 90%	La operación de incineradores universales está asociada con emisiones a la atmósfera de metales pesados, sustancias orgánicas (dioxinas y furanos), hexaclorobencenos e hidrocarburos poliaromáticos, éstos últimos derivados de procesos de combustión incompleta, sustancias potencialmente tóxicas y bioacumulables muy peligrosos
Tecnologías modernas permiten tener un mayor control de las emisiones a la atmósfera aunque elevan demasiado los costos	Las emisiones de partículas y gases que se generan en este proceso, provocan la contaminación de áreas cercanas a la planta, y en algunos casos, en zonas más alejadas al ser acarreadas por el viento
Tecnologías modernas permiten la recuperación de la energía calorífica generada durante la combustión de los residuos sólidos la cual se puede emplear en la generación de electricidad, calefacción y otros usos.	La mala o deficiente operación del proceso conduce a una combustión incompleta de los residuos, con lo que se generan gases tóxicos que son emitidos a la atmósfera



<p>Si no existe terreno disponible para construir un relleno sanitario o facilidades para compostaje, dentro de una distancia en que resulte económico el transporte de los residuos sólidos desde el centro de producción, un incinerador puede representar el sistema total más económico para el tratamiento de estos</p>	<p>Es una tecnología que requiere de altos costos de inversión para la construcción y funcionamiento de una planta, costos prácticamente no recuperables.</p>
<p>Un incinerador diseñado de manera adecuada es capaz de procesar mezclas variables de residuos y no depende de variaciones climáticas</p>	
<p>La recuperación de los materiales del residuo de la incineración y del calor del proceso de incineración puede producir ingresos significantes</p>	

Fuentes : elaboración a partir de: Kreith,F. *Hand Book of Solid Waste Managment*,McGraw Hill,U.S.A,1994

Como sabemos, los contaminantes de la atmósfera vertidos durante la incineración de los RSM, generan un gran número de emisiones contaminantes a la biosfera, que ha venido a provocar problemas cada vez más agudos que preocupan ampliamente tanto a autoridades como a técnicos y científicos, sobre todo a la misma población que habita el planeta, ya que sus efectos, son cada vez más difíciles de resolver, principalmente en aquellos, que de alguna forma, provocan daños en la salud y en el medio ambiente.



Capítulo 7

Conclusión sobre la tecnología de Fusión directa (DMS)



En este capítulo se mostrara la ventaja que tiene la tecnología DMS en comparación con la de incineración, también se encontraran las conclusiones sobre las misma.

7.1 Ventajas y desventajas de la tecnología Nipón Steel

Durante las últimas décadas, la mayoría de los países industrializados con densidades de población elevadas han empleado la incineración como procedimiento alternativo a los vertederos controlados.

La incineración es uno de los procesos térmicos que pueden aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos municipales, también ha sido objeto de críticas desde el punto de vista medio-ambiental debido a la formación de sustancias muy toxicas, dioxinas y furanos, que junto a diferentes metales pesados pueden ser emitidos por este procedimiento.

Es en esta última etapa donde la incineración compite con otros procesos térmicos, la tabla 7.1 nos muestra las ventajas de la tecnología de DMS y las ventajas de la incineración, y la tabal 7.2 en la Pg.127 indica las desventajas.

Tabla No.7.1 Ventajas de la tecnología DMS y de incineración

Ventajas de la tecnología DMS	Ventajas de la incineración
La adición de un exceso de oxígeno asegura la perfecta combustión de los materiales sólidos	La incineración se quema a la misma cantidad de oxígeno en periodos más cortos
Los gases calientes que salen de la cámara de combustión contiene un poder calorífico medio que alimenta a una turbina para la generación de energía que es reutilizada n el proceso.	Se produce calor (energía)que es aprovechada en la producción de cementos
Las condiciones del vapor mantienen los niveles mínimos de corrosión en la caldera.	Recuperación en los vertederos de las sustancias toxicas
La energía eléctrica generada (34MWh)supera el auto consumo.	Se rompe el circuito de reciclaje, pero evita la acumulación de desperdicios



Inyección de combustible, se tratan las dioxinas y furanos existentes, cumpliendo con las normas más estrictas sobre emisiones	Destrucción amplia de contaminantes
Las cenizas y los residuos se mezclan con las proporciones adecuadas de cementos y agua a fin de formar un mortero, para utilizarlo en la construcción	Reduce el volumen de la basura y soluciona el grave problema de los vertederos

Fuente : elaboración propia a partir de : Ortinez Brito., *Proceso de incineración y formación de dioxinas y furanos*, Tesis 2001

Tabla No.7.2 Desventaja de la tecnología DMS y de incineración

Desventajas de la tecnología DMS	Desventajas de la incineración
El transporte de los residuos en camiones hacia los vertederos contamina más que la tecnología	Se producen contaminantes en la incineración, sin evitar el contacto y el riesgo de enfermedades
Las escorias utilizadas para asfaltos contamina los mantos sub-acuíferos al producirse una lluvia acida y estos se transportan hacia el manto.	Los homos y las gases producidos por la incineración, la hacen un tecnología sucia

Fuente: elaboración propia a partir de: Ortinez Brito., *Proceso de incineración y formación de dioxinas y furanos*, Tesis 2001

7.2 Conclusión sobre la tecnología DMS

El tratamiento de los residuos sólidos municipales exige sofisticadas tecnologías adecuadas para la conservación del medio ambiente, incluyendo las contramedidas para la formación de dioxinas y alcanzar una sociedad orientada hacia el reciclaje. En esta situación, la gasificación y la fusión de residuos, estudiada en la tecnología DMS nos señala su larga experiencia acumulada y promete ser la tecnología que satisface las necesidades más graves, es decir, la gran acumulación de RSM en países de grandes poblaciones y la falta de vertederos; por esta razón se fueron haciendo mejoras al proceso con el fin de aumentar el rendimiento de los hornos de fusión.

Esta tecnología nos prueba su gran experiencia a nivel industrial, por lo que podemos ver como primero fueron desarrollando reactores pequeños para después dar un salto hacia reactores más grandes. La intención de introducir la



tecnología Nippon Steel nos da una solución a los problemas ambientales, ya que los beneficios que podemos obtener son:

- La menor utilización de rellenos sanitarios, ya que en la tecnología utilizamos todos los desechos para la fusión.
- Reduce el volumen de la basura y soluciona el grave problema de falta de los vertederos.
- La energía liberada por la fusión de los desechos es recuperada mediante una turbina para la generación de energía eléctrica la cual es reutilizada en el proceso.
- Los gases de salida de la chimenea son poco contaminantes, ya que son previamente tratados por un reactor catalítico para disminuir la concentración de los gases de salida.

El siguiente listado nos muestra las mejoras en el proceso DMS, con lo cual sustenta que es una tecnología probada.

(1) La mejora del horno de fusión demostró que eliminan alrededor de 13000 toneladas de RSM (incluidos los combustibles e incombustible) y que produce alrededor de 2400 toneladas de escoria y un metal.

(2) El porcentaje de residuos de combustión en los hornos de fusión se incrementó mediante la instalación de suministro de aire tuyeres en dos filas y optimizar el perfil interior del horno.

(3) El consumo de coque y de oxígeno alimentado por la planta PSA como auxiliar de combustibles se redujo en un 49% y 57%, respectivamente.

(4) Las formas de consumo de carbono en la demostración del horno, fueron similares a los observados en los pequeños reactores de 10 t / d en una planta piloto.



(5) Las escorias producidas a partir de la fusión de residuos es similar a la de arena natural, tanto en la composición y la elución, por esta razón las escorias pueden ser utilizadas en los proyectos de construcción.

(6) El metal producido a partir de la fusión de residuo, es un material no peligroso en términos de composición y se vende como material para la construcción de maquinaria pesada.

(7) Con objeto de ampliar el ámbito de aplicación de la escoria, se prueban para comprobar su rendimiento en los servicios como agregado fino para la pavimentación de asfalto. Encontrándose que son satisfactorias cuando se añaden a una tasa del 10% para la pavimentación de asfalto.

Con el fin de mejorar aun más el rendimiento de los hornos de fusión, los autores han desarrollado las tecnologías de inyección de combustible a través de tuyeres, y la diversificación de los tipos de desechos a proceso, para obtener los siguientes resultados:

(1) Combustibles (plásticos y polvo de combustible) que se inyecta en forma directa a través de los hornos de fusión por la parte inferior mediante los tuyeres para quemarse en lugar de coque. La inyección de combustible a través de tuyeres reduce el consumo de coque y mantiene la temperatura y la reducción de la capacidad en los hornos a muy altos niveles.

(2) Adecuado control de las condiciones de operación del horno de fusión, que permite diversificar los tipos de desechos en el proceso. Especialmente de la capacidad de procesamiento de desechos provenientes de los vertederos para ser eficaz en la ampliación de la vida útil de los vertederos.



(3) La ampliación adecuada del perfil de un horno de fusión para aumentar su capacidad de procesamiento. Los grandes hornos de fusión con una capacidad de 200 t / d se han construido como resultado de ello y son de operación estable.

Sin embargo, hay que aclarar que para una valoración es necesario contar con información adicional tal como: Inversión de capital, costos de operación y mantenimiento, área para construir nuevas plantas, etcétera. Por ello, el presente estudio pretende mediante el uso de la predicción comparativa de las tecnologías, estimar los beneficios que nos brinda la tecnología DMS en comportamiento.

Ante la escasez de mayor información sobre el comportamiento de contaminantes específicos del aire generados por las planta DMS, queda por estudiar la forma de emisión de ciertos contaminantes, los factores que afectan su dispersión y sobre todo, el cómo poder actuar en un momento dado para minimizarlo y así poder atenuar sus impactos.

Referencias.

- Bravo Olguín., *Impacto de las emisiones gaseosa de óxidos de Nitrógeno provenientes de una planta de incineración de RSM, sobre la calidad del aire de la ciudad de México*, Tesis 1997
- Calaminus B. and R. Stahlberg; “Continuous in-line gasification/ vitrification process for thermal waste treatment: process technology and current status of projects”. *Waste Management*, 18 (1998) 547 – 556.
- Ciceri, Hugo Norberto, en: *Evaluación de técnicas con fundamento en el plasma térmico para la producción de gases de síntesis y energía a partir de desechos municipales* , 2006, Facultad de Química, UNAM.
- *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.
- Georgiev I. V., and B. I. Mihailov, “Some general conclusions from the results of studies on solid fuel steam plasma gasification”. *Fuel*, vol. 71, pp 895 August 1992.
- Hill A. et al., “Solid waste management alternatives for the city of New York”; Columbia University, *workshop Report*, 2005.
- Japan Corporate News Network, *Nippon Steel Licenses Waste Gasification and Melting Furnace Project to the Republic of Korea*, Release January 2004.
- Jiménez Cisneros Blanca, *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada* , México Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001.
- JFE Engineering corporation, *JFE Licenses High-Temperature Waste Gasifying and Direct Melting Technology to Italy’s SC Group*, Release February 2006.
- KIELYGerard, “*Ingeniería Ambiental*” fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestion. McGraw-Hill,U.S.A, 2000.

- Kreith, F. *Hand Book of Solid Waste Management*, McGraw Hill, U.S.A, 1994
- Nippon Steel, *Direct Melting System for Recycling (shaft furnace type gasification and melting furnace)*, Nippon Steel, Release February 2002.
- Nippon Steel Engineering Co., *Direct Melting System*, Nippon Steel, Release.
- Nippon Steel, *Nippon Steel Environmental Report 2002*, November 2002.
- Nippon Steel, *Projects contracted and completed in 2005*, Nippon Steel, Release 2006.
- Nippon Steel, *Transfer of Waste Direct Melting Furnace Technology to POSCO E&C*, Nippon Steel, Release November 2002.
- Orr D. and D. Maxwell, *A Comparison of Gasification and Incineration of Hazardous Wastes Report*. Radian International LLC, March 2000.
- Quapp W. J., D. Lamar and N. Soelberg; *Waste Gasification – Test Results From Plasma Destruction of Hazardous, Electronic and Medical Wastes*. Integrated Environmental Technologies, LLC, May 2003.
- Shibaïke, Hideharu, et al., *Development of High-performance Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 92, July 2005.
- Tawara, Youichi, et al., *Research and Development of Direct Melting Process for Municipal Solid Waste*, Nippon Steel Technical Report No. 70, July 1996.
- Unda Opazo Francisco, *Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y a la salud pública*, México, Limusa, 1993

Patentes

- Ishida, et al., Japan. Patent application ser No 08-285246, applicant. Nippon Steel Corp “Control method of charged material stock level in waste melting furnace”, November 1996.

- Ishida et al., Japan. Patent application ser No 08-152118, applicant. Nippon Steel Corp “*Combustion temperature control method in melding furnace of waste based on shaft furnace system*”, Junio 1996

- Ishida Yoshihiro., Japan. Patent application ser No 2000-356340, applicant. Nippon Steel Corp “*Method and equipment for manufacturing oxygen enriched air in waste pyrolysis melding treatment*”, December 2000.

- Katou et al., Japan. Patent application ser No 2007-248007, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD “*waste melting treatment device*”, September 2007.

- Katou et al., Japan. Patent application ser No 2007-167782, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD “*Waste treatment method*”, Julio 2007

- Katou et al., Japan. Patent application ser No 2002-267121, applicant. Nippon Steel Corp “*Method and apparatus for blowing combustible dust in waste melding furnace*”, septiembre 2002.

- Kurita, et al., Japan. Patent application ser No 2005-090869, applicant. Nippon Steel Corp nittetsu plant designing Corp., “*Combustion chamber for waste melting facility*”, April 2005

- Kurita Masaya., Japan. Patent application ser No 20007-136396, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD “*Waste treatment method and waste material treatment device*”, Junio 2007.

- Nakamura et al., Japan. Patent application ser No 2005-164173, applicant. Nippon Steel Corp nittetsu plant designing Corp., “*Method and system for Charging furnace whit refuse and sludge*”, Junio 2005.

- Nishihara et al., Japan. Patent application ser No 2002-048321, applicant. Nippon Steel Corp *“Melting processing method for waste”*, febrero 2002

- Nishi et al., Japan. Patent application ser No 2007-093069, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD *“waste melting furnace operating method”*(12.042.007)

- Nishi et al., Japan. Patent application ser No 2007-017146, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD *“waste fusion disposal method”*(25.01.2007)

- Sugiyama Takashi., Japan. Patent application ser No 07-228905, applicant. Nippon Steel Corp *“Operation of blast Furnace”*(29.08.1995)

- Ogiriyama et al., Japan. Patent application ser No 2001-033016, applicant. Nippon Steel Corp *“Method for controlling furnace pressure of waste melting furnace and device controlling furnace pressure”*(09.02.2001).

- Todaka et al., Japan. Patent application ser No 2004-188267, applicant. Nippon Steel Corp nittetsu plant designing Corp., *“Apparatus for treating boiler blow water of exhaust gas treating system in waste melting equipment”*(08.07.2004)

- Tanigaki et al., Japan. Patent application ser No 2006-207912, applicant. Nippon Steel Corp., *“Waste melting treatment meted and waste melting treatment furnace”*(10.08.2006)

- Tanigaki et al., Japan. Patent application ser No 2006-317132, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD *“waste melting treatment method and waste meting furnace”*(24.11.2006)

- Tagashiri et al., Japan Patent application ser No 2006-300420, applicant. Nippon Steel Engineering Co LTD *“waste melting method and divece”*(02.11.2006)

- Yamashit et al., Japan. Patent application ser No 2001-304537, applicant. Nippon Steel Corp “*Method for exhaust-gas treatment*”(31.10.2001)

Paginas web

- Disponible también en : <http://www.nsc.cop.jp>. Consultado el día 15 de Enero 2008
- Disponible también en : http://kankyou.eng.nsc.co.jp/e/e-shaft_furnace_features.html, consultado el día 15 de Enero de 2008.
- Disponible también en : <http://www.gas-plants.com/pressure-swing-adsorption.html>, consultado el día 24 Marzo de 2008.
- Disponible también en : http://www.semarnat.gob.mx/levesynormas/NormasOficialMexicana_ Consultado el día 16 de junio del 2008
- Disponible también en: <http://www.semarnat.gob.mx> consultado el día 22 de junio del 2008.
- Disponible también en
:<http://www.semarnat.gob.mx/LEYESYNORMAS/NORMASOFICIALESMEXICANASVIGENTES/Pages/contaminacionporruído.aspx>, <http://www.stps.gob.mx/>, consultado el día 24 de junio de 2008
- Disponible también en : http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/bonos_de_carbono consultado el día 20 de Agosto de 2008 .