

Costumbre Mercantil 11

© Derechos Reservados de Autor

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA

Carrera 6 No. 14-98 Pisos 2, 5, 6, 7 y 10

Correo electrónico: dama@dama.gov.co o produccionlimpia@dama.gov.co

Bogotá, D.C., Colombia.

Producción Editorial

Cámara de Comercio de Bogotá

Avenida Eldorado 68D - 35. Apartado Aéreo 29824

Departamento de Publicaciones

Bogotá, D.C., marzo de 2004

La información de este documento está protegida por la Ley 23 de 1982 de la República de Colombia y está sujeta a modificaciones sin preaviso alguno. Podrán reproducirse extractos y citas sin autorización previa, indicando la fuente. Su reproducción extensa por cualquier medio masivo presente o futuro, en traducciones o transcripciones, podrá hacerse previa autorización del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA. La Autoridad Ambiental - DAMA, no asume responsabilidad alguna por los criterios u opiniones expresados por los autores.

Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la pequeña y mediana empresa – Acercar Industria

Cámara de Comercio de Bogotá - CCB. Corporación Ambiental Empresarial - CAE. Acercar Industria

Presidenta Ejecutiva
Cámara de Comercio de Bogotá.
MARÍA FERNANADA CAMPO SAAVEDRA

Vicepresidente Ejecutivo
Cámara de Comercio de Bogotá.
ANDRÉS LÓPEZ VALDERRAMA

Vicepresidenta de Gestión Cívica y Social
Cámara de Comercio de Bogotá.
MARÍA EUGENIA AVENDAÑO MENDOZA

EQUIPO DE TRABAJO ACERCAR INDUSTRIA.
Directora Corporación
Ambiental Empresarial.
Filial de la Cámara de Comercio de Bogotá.
MARÍA FANNY MONDRAGÓN LEONEL

Directora Programa
GLADYS PUERTO CASTRO

Profesional responsable de esta guía
CAMILO ANDRÉS VARGAS FLECHAS

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá - DAMA.

Directora Departamento Técnico
Administrativo del Medio Ambiente
de Bogotá, DAMA.
YAMILE SALINAS ABDALA

Subdirector Ambiental Sectorial
Departamento Técnico Administrativo del Medio
Ambiente de Bogotá - DAMA.
JESÚS MIGUEL SEPÚLVEDA (e)

Interventor Programa ACERCAR
OSCAR ALBERTO VARGAS M.

Profesional del Área
HENRY TORRES POSADA



CONTENIDO

Presentación	11
Introducción	13
1. Generalidades de la combustión	15
2. Análisis ambiental del proceso de combustión	24
3. Buenas prácticas y sistemas de control en el proceso de combustión ...	30
4. Caso exitoso	47
Anexos	49
1. Combustión	49
2. Combustibles	53
3. Legislación ambiental relacionada con el proceso de combustión	64
Bibliografía	69



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de combustible en algunos países industrializados.	17
Tabla 2. Reservas y producción de combustibles en Colombia.	19
Tabla 3. Emisiones por día en Bogotá.	20
Tabla 4. Matriz DOFA relacionada con el proceso de combustión.	23
Tabla 5. Emisiones asociadas a la combustión de algunos combustibles. ...	25
Tabla 6. Aspectos ambientales por actividad.	27
Tabla 7. Convenciones de matriz de impacto ambiental	28
Tabla 8. Excesos de aire recomendados, según tipo de combustible	31
Tabla 9. Adsorbentes utilizados para el control de emisiones del proceso de combustión.	35
Tabla 10. Contaminantes eliminados por absorción.	36
Tabla 11. Fracciones del petróleo.	55
Tabla 12. Propiedades del ACPM.	55
Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas del fuel oil	56
Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas del combustóleo.	57
Tabla 15. Clasificación general de los carbones.	59
Tabla 16. Características de los carbones en Colombia.	59
Tabla 17. Alimentadores de lecho de combustible	62
Tabla 18. Quemadores y hornos de encendido para lecho en suspensión	62
Tabla 19. Quemadores utilizados según tipo de combustible.	63



Tabla 20. Límites de emisión para fuentes fijas. Resolución 1208 de 2003	66
Tabla 21. Niveles de ruido máximos permisibles. Resolución 8321 de 1983	66
Tabla 22. Valores límite permisibles para ruido continuo o intermitente en zonas de trabajo	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia de consumo mundial de energía	16
Figura 2. Consumo de combustible por tipo	16
Figura 3. Comparación consumo de energía en Colombia. Años 1997 y 2001	19
Figura 4. Matriz de impacto ambiental del proceso de combustión	28
Figura 5. Quemador de paquete integral	32
Figura 6. Sistemas de control de contaminantes.....	34
Figura 7. Proceso de adsorción	35
Figura 8. Esquema general de eliminación de un componente por absorción	36
Figura 9. Esquema de funcionamiento de una cámara de sedimentación .	41
Figura 10. Esquema de funcionamiento de un separador un ciclónico	42
Figura 11. Lavador venturi	43
Figura 12. Cámara de filtros	44
Figura 13. Principales aplicaciones del proceso de combustión	50
Figura 14. Distribución de energía aprovechada en el proceso de combustión	51



PRESENTACIÓN

En el Distrito Capital se concentra la mayor parte de la actividad económica del país. La base industrial de la región es diversa, incluyendo rubros tan variados como alimentos, textiles, productos químicos, plásticos, papel, caucho y metales básicos. Sin embargo, el rápido crecimiento económico e industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución de aire, agua y suelo.

Con el propósito de promocionar un desarrollo industrial sostenible, el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA, a través de la Ventanilla Ambiental Acercar, ha venido desarrollando una serie de instrumentos entre los que se encuentran las *Guías ambientales para el control y prevención de la contaminación industrial*. El objetivo principal de estas guías, para ser distribuidas en las empresas, es orientarlas en materia ambiental, entregándoles herramientas de prevención y control de la contaminación. Adicionalmente se convierte en un instrumento práctico de fácil consulta y amplia aplicabilidad.

Los sectores a los cuales van dirigidas las guías ambientales han sido seleccionados por el DAMA teniendo en cuenta la representatividad dentro del sector manufacturero y los impactos ambientales que generan. Así mismo, se consideraron algunos temas transversales a diversos sectores como la contaminación por ruido y el proceso de combustión.

El presente documento se constituye en la ***Guía ambiental para el proceso de combustión*** que pretende convertirse en una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, el manejo y desempeño ambiental empresarial.



INTRODUCCIÓN

La energía ha sido la herramienta fundamental en el desarrollo de la humanidad, específicamente para la producción de bienes y servicios tendientes al mejoramiento de la calidad de vida de las sociedades. La formación milenaria de combustibles naturales, le ha permitido al hombre aprovechar tales recursos para generar energía, principalmente a partir de petróleo y carbón.

Con el aumento continuo de la población mundial y con ello de sus necesidades, la demanda energética ha tenido un aumento acelerado, especialmente en las concentraciones poblacionales de tipo urbano, situación que a su vez lleva a la explotación de los recursos energéticos no renovables, ocasionando alteraciones considerables a los ecosistemas desde su exploración y explotación, hasta su consumo, siendo este último el responsable de la emisión de gases calientes, parte de los cuales son altamente nocivos, y radiaciones en magnitudes tales que la atmósfera no es capaz de diluir.

El mundo entero vive un problema agudo de contaminación como consecuencia del consumo de combustibles fósiles para la producción de energía, ya sea en fuentes fijas o de tipo móvil, y específicamente al escaso control de los procesos de combustión. La emisión de sustancias como monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre causan los efectos ambientales smog fotoquímico, lluvia ácida, efecto invernadero y adelgazamiento de la capa de ozono.

La sustitución de combustibles, la implementación de medidas de control sobre el proceso de combustión y sus emisiones, el adecuado mantenimiento de los sistemas de combustión, la obtención de mezclas combustible/comburente óptimas y el desarrollo de energías alternativas, se constituyen entonces en elementos que permiten minimizar el impacto ambiental y permiten un mejoramiento constante de la calidad de vida, bajo un esquema de mayor sostenibilidad.

Esta guía ambiental tiene como propósito fundamental orientar a los empresarios en los principios básicos del proceso de combustión, tipos de combustible, su adecuado aprovechamiento y elementos y sistemas de control, factores que generan beneficios de tipo ambiental, económico, productivo y competitivo para cada una de las unidades industriales que requieren para sus procesos energía de tipo térmico.



1. GENERALIDADES DE LA COMBUSTIÓN

La relación energía - medio ambiente, y específicamente la afectación que la primera tiene sobre el segundo, ha provocado cambios profundos en el plano internacional, nacional y local en materia del consumo de combustibles, los cuales han repercutido en forma creciente sobre las condiciones y orientaciones del desarrollo y consumo energético.

Durante las últimas décadas, la preocupación por los impactos ambientales ocasionados por la actividad humana, y en particular por el uso de energía, ha llegado a ser de importancia primordial en los procesos de planeación y desarrollo económico y social de la comunidad mundial.

1.1 CONTEXTO MUNDIAL

En la actualidad existe una preocupación generalizada por los efectos causados sobre el medio ambiente en los procesos y operaciones relacionadas con los requerimientos energéticos de las industrias. La emisión de agentes contaminantes a la atmósfera se ha convertido en uno de los temas ambientales prioritarios a nivel mundial debido al elevado consumo de combustibles y la afectación que este ha tenido sobre los ecosistemas mundiales.

El dióxido de carbono proveniente de la combustión de productos derivados del petróleo es la mayor fuente de emisiones generadoras del efecto de invernadero y por ende del cambio climático global, y se le atribuye el 75 % de dichas emisiones. Entre 1965 y 1998, las emisiones mundiales de carbono se duplicaron, lo que equivale a un incremento anual del 2,1% en promedio, lo cual resulta acorde con el aumento en el consumo de combustibles, para el cual se tuvo un aumento del 12% entre 1990 y 1999.

En la agenda ambiental mundial han venido registrándose una serie de acuerdos para reducir los contaminantes lesivos para los ecosistemas y las sociedades. Así, la Convención de Basilea y los Protocolos de Montreal y Kioto inciden de forma directa sobre el sector energético, siendo este último protocolo el que tiene mayor incidencia sobre el consumo de combustibles de tipo fósil y su contribución al cambio climático.

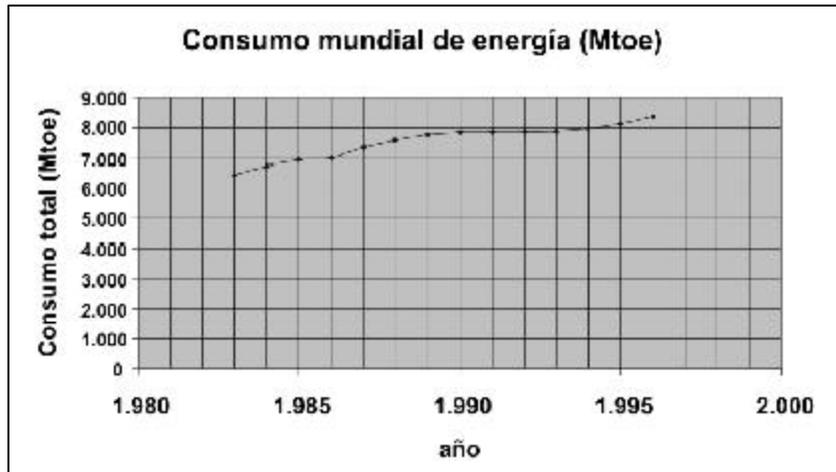
El consumo mundial de energía ha aumentado significativamente desde 1992 y se prevé que aumentará a un índice del 2% anual hasta el año 2020. La figura 1 presenta la tendencia en el consumo de energía a nivel mundial expresada en millón de toneladas de hidrocarburo equivalente (Mtoe), unidad ampliamente utilizada y que equivale a $3,9 \times 10^7$ mega BTU.

Los países desarrollados tienen mayor intensidad en el consumo de combustibles y por ende en la contaminación atmosférica, llegando a tenerse una utilización per cápita de 6,4 toneladas de equivalente de



petróleo por año, lo cual equivale a diez veces más que el consumo de combustible en los países en desarrollo.

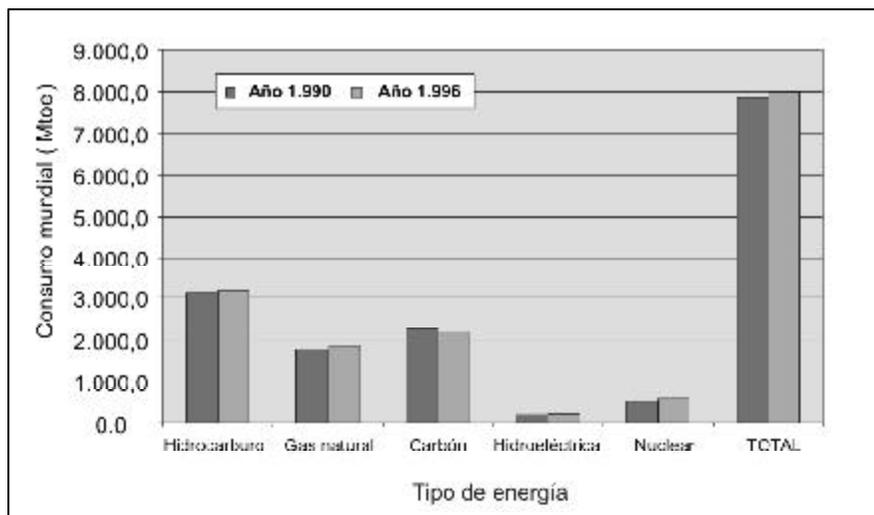
Figura 1. Tendencia de consumo mundial de energía.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Curso control de la contaminación atmosférica. 2002.

Los combustibles fósiles suministran cerca del 80% de la producción y del consumo total mundial de energía, razón por la cual y sumada a efectos ambientales del proceso de combustión, las políticas productivas de los países firmantes del Protocolo de Kioto, principalmente los desarrollados han buscado la reducción del consumo de combustibles fósiles y la optimización de los sistemas de generación de energía, elementos tendientes al cumplimiento de las metas establecidas en dicho protocolo. La figura 2 presenta el consumo de combustible mundial por tipo.

Figura 2. Consumo de combustible por tipo.



Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Curso control de la contaminación atmosférica. 2002.



Si bien las políticas de reducción del consumo de combustibles afectan en alguna medida la economía de los países exportadores, los mecanismos para facilitar el cumplimiento de las metas establecidas en el Protocolo de Kioto se constituyen en una oportunidad para que los países y en general la comunidad mundial busque la diversificación de su economía y de sus exportaciones y aproveche también nuevas oportunidades de inversión y de transferencia de tecnología, contando para ello con las expectativas de producción y uso de energía, y la amplia oferta ambiental de que se dispone.

La tabla 1 presenta el consumo de combustible por tipo para algunos países desarrollados.

17

Tabla 1. Consumo de combustible en algunos países industrializados.

País	Tipo de suministro de energía										
	Hidrocarburo		Carbón		Gas Natural		Nuclear		Hidro/geotérmica		TOTAL
	100 Mkw/h	(%)	100 Mkw/h	(%)	100 Mkw/h	(%)	100 Mkw/h	(%)	100 Mkw/h	(%)	100 Mkw/h
Japón	1873.7	18.2	1966.3	19.1	2110.5	20.5	3191.5	31	1153.0	11.2	10295
Alemania	71.2	1.3	2926.3	53.4	504.2	9.2	1704.3	31.1	279.5	5.1	5480
Reino Unido	79.1	2.3	1196.8	34.8	1076.4	31.3	980.1	28.5	103.2	3	3439
Francia	74.8	1.5	259.4	5.2	49.9	1	3956.3	79.3	648.6	13	4989
Italia	1133.9	46	246.5	10	613.8	24.9	0.0	0	470.8	19.1	2465
Canadá	138.0	2.4	1000.5	17.4	235.8	4.1	826.0	14.4	3553.5	61.8	5750
USA	1064.5	2.9	19747.8	53.8	5065.4	13.8	6680.5	18.2	4147.8	11.3	36706

Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Curso control de la contaminación atmosférica. 2.002.

Es importante anotar que la cuota de consumo de combustibles fósiles en el mundo industrializado ha descendido a menos del 50% del total mundial. Por otro lado, el consumo en los países en vías de desarrollo se ha multiplicado por 4 durante los últimos 30 años y unas 2,4 veces en las antiguas economías planificadas.

El desarrollo tecnológico, político, legislativo, fiscal, el apoyo administrativo y financiero, la información, la educación y la formación se han convertido en factores fundamentales en el desarrollo de instrumentos y sistemas para el control de la contaminación ocasionada por la explotación energética y debe tender a la implementación de fuentes de energía renovable.

Las fuentes modernas de energía renovable, tales como la energía hidroeléctrica, de biomasa moderna, geotérmica solar y eólica contribuyen con apenas el 4,5% aproximado de la producción total de energía. Los paneles solares fotovoltaicos, la energía térmica solar, la energía eólica y diversas formas de utilizar la biomasa, como la madera y los cultivos se vislumbran como las fuentes de suministro energético para las generaciones futuras. Algunos ejemplos de la utilización de este tipo de energías son Dinamarca, que en la actualidad cuenta con una industria eólica líder mundial, y las potentes industrias de tecnologías de biomasa Finlandia y Suecia.



1.2 CONTEXTO NACIONAL

En Colombia, las acciones legales y regulatorias coordinadas por parte del Gobierno nacional están abogando por cristalizar un desarrollo del aparato productivo amigable con el medio ambiente. Por una parte, los esfuerzos del sector energético por implementar acciones de uso racional y eficiente de la energía alivia las presiones sobre los recursos naturales y del medio ambiente; y por otra, los esfuerzos de las autoridades ambientales en racionalizar los procesos de otorgamiento de permisos y concesiones o licenciamiento ambiental para la instalación de infraestructura energética, reduce presiones financieras y temporales sobre el desarrollo de proyectos energéticos.

18

Colombia es uno de los países en desarrollo que cuenta con una estrategia específica para el aprovechamiento del mecanismo de desarrollo limpio (MDL), la cual se viene ejecutando desde comienzos del 2000 con buenos resultados. El país tiene la posibilidad de generación de certificados de reducción de emisiones, CRE, a través de proyectos de reconversión tecnológica en el sector industrial, de una movilidad más eficiente en el sector transporte, de la utilización de combustibles y tecnologías más limpias y de proyectos forestales de bajo costo, que posibilitan el ofrecimiento del denominado "carbón verde", como una opción eficiente para los exportadores de carbón mineral.

Con relación al cambio climático global, Colombia ratificó esta convención mediante la Ley 164 de 1995 y el Protocolo de Kioto mediante la Ley 629 del 27 de diciembre de 2000. Aunque Colombia como país en desarrollo ha tenido una responsabilidad mínima en la acumulación de gases de efecto invernadero proveniente de actividades antropogénicas, el país es vulnerable a las respuestas del clima y a las medidas que se adopten para enfrentarlo. El compromiso del sector energético colombiano en la planeación se viene consolidando con la formulación de lineamientos de política ambiental específicos para los aspectos relacionados con el proceso de combustión.

Las entidades del sector energético, públicas y privadas, se han preocupado por tener una participación activa en la discusión y establecimiento de políticas, regulaciones, normas, guías técnicas y acuerdos, lo cual tiene de un lado beneficios innegables, pero es indispensable mantener una independencia de la regulación que defina el contexto de la actuación ambiental del sector energético.

Recientemente, a raíz de la promulgación de la Ley de Uso Racional de la Energía, el país pretende introducir este concepto como una manera efectiva de obtener, además de mejoras en rendimientos energéticos, beneficios ambientales y económicos.

Debe mencionarse que los aportes de la investigación y el desarrollo tecnológico a la solución de problemas ambientales del sector energético son marginales y, por ende, deben tener un fortalecimiento. Se destacan algunos esfuerzos en el campo del petróleo y sus derivados.

Las fuentes fijas de emisión en Colombia, de las cuales la industria manufacturera es la más importante, producen cerca del 80% de la contaminación por partículas suspendidas, el 85% de los óxidos de azufre y el 16% de los óxidos de nitrógeno.

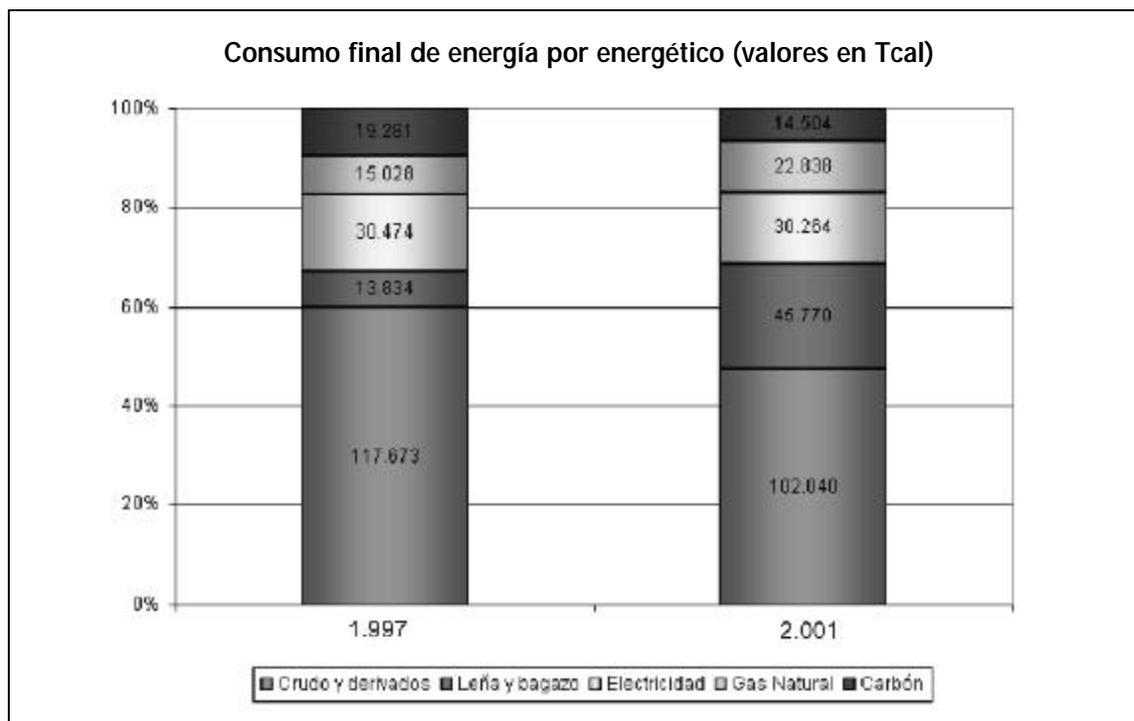
Respecto al consumo de energía en Colombia, éste muestra un decaimiento año tras año. Así, por ejemplo mientras que en 1998 el consumo final de energía fue de 246.292 teracalorías, en 1997 fue de 246.384 teracalorías y en el 2001 pasó a ser de 238.709 teracalorías.



En el 2001, los derivados del petróleo constituyeron el 43% del total del consumo, en tanto que el gas natural aumentó su participación al 10% respecto a 1997 y la electricidad mantuvo el 13%. Además de los factores económicos que tipifican este período, estrategias energéticas como la masificación del gas han incidido en la misma estructura de consumo, cuyos efectos en la búsqueda de eficiencia, combustibles limpios y racionalización explican en buena parte este comportamiento.

La figura 3 presenta un gráfico comparativo entre el consumo de diversos combustibles en Colombia en los años 1997 y 2001. Se aprecia el aumento en el consumo de combustibles derivados del petróleo y de biomasa.

Figura 3. Comparación consumo de energía en Colombia. Años 1997 y 2001.



Fuente: UPME.

Respecto a las reservas de energía con que cuenta el país, la tabla 2 presenta las magnitudes correspondientes.

Tabla 2. Reservas y producción de combustibles en Colombia.

Fuente de energía	Reservas (magnitud)	Producción/año	Reserva (años)
Hidrocarburos (millones de barriles)	2.000	250	10
Gas natural (Giga-pies³)	7.190	248	29
Carbón (medidas) (millones de toneladas)	6.650	39	174
Carbón (indicadas) (millones de toneladas)	2.597	39	65

Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Curso control de contaminación del aire. 2002.

1.3 CONTEXTO LOCAL

La combustión como medio de generación de la energía utilizada en la mayoría de los procesos industriales en las **mipymes** (micro, pequeñas y medianas empresas) de Bogotá, tiene alta incidencia sobre el componente ambiental del Distrito Capital, ya que el uso de combustibles y la ocurrencia de combustiones incompletas conlleva a la formación de productos indeseados, formación de escoria, aumento en los tiempos de proceso, problemas de corrosión y contaminación; que para el caso de estas unidades industriales se ven agravados por la obsolescencia de los equipos empleados, la ausencia de programas adecuados de mantenimiento y gestión, deficientes canales de información y dificultad en su acceso.

En Bogotá, los mayores contaminantes atmosféricos son los óxidos de azufre (SOx), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx), cargas que obedecen principalmente al resultado de la combustión de derivados del petróleo en los automotores y en los procesos productivos.

Bogotá cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire, manejada por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, DAMA, conformada por catorce estaciones automáticas que detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad generados por los sectores industrial, transporte y residencial y envían los datos a una estación central en donde se procesan y posteriormente se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de los datos y la verificación del cumplimiento de las normas de calidad del aire para detectar los puntos críticos tanto desde el punto de vista geográfico, como en relación con los contaminantes que alcanzan concentraciones de interés.

Los principales agentes contaminantes atmosféricos evaluados en Bogotá son partículas, óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y ozono O₃. La concentración de estas sustancias en las diferentes zonas del perímetro urbano de Bogotá es objeto de constantes análisis y estudios. Los datos de emisiones en un día y su discriminación por tipo de actividad causante se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Emisiones por día en Bogotá.

Agente contaminante	Valor por tipo de actividad (kg/día)			Total
	Industrial	Vehicular	Aérea	
Monóxido de carbono.	21.890	164.994	6.694	193.578
Material particulado menor a 10 micras.	7.037	1.034		8.071
Óxidos de azufre.	14.001	6.342	356	20.699
Óxidos de nitrógeno.	3.853	38.979	7.567	50.399
Metano.	472	1.381		1.853
Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano.	780	42.605	3.164	46.549
Dióxido de carbono.	37.127	5'151.107		5'888.234

Fuente: Modelo de calidad del aire para Bogotá. Informe semestral. DAMA - Universidad de los Andes.

De los datos presentados se aprecia que la mayor contribución por monóxido de carbono, metano, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, corresponde a fuentes vehiculares, mientras que material particulado y óxidos de azufre son emitidos en mayor proporción por fuentes industriales, lo cual obedece al tipo de combustible utilizado en estas unidades, cuyo contenido de azufre es generalmente mayor al de los combustibles vehiculares, y a las demás características propias de los combustibles.

De acuerdo con la información de la distribución de contaminantes en el perímetro urbano de Bogotá, las localidades con mayores índices de contaminación corresponden a Puente Aranda, Teusaquillo, Chapinero, Fontibón, Barrios Unidos y La Candelaria, generando aproximadamente un 30% de la emisión total de los contaminantes monóxido de carbono, metano, compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano y dióxido de carbono. La emisión de material particulado tiene mayor ocurrencia en la zona de Puente aranda y el centro de la ciudad, generando un 54% de la emisión total.

1.4 FACTORES DE COMPETITIVIDAD

Considerando el gran potencial de mejoramiento y las posibilidades de investigación y desarrollo que tiene el proceso de combustión, dentro el Plan Energético Nacional 2003 elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, en el cual se formulan lineamientos de política ambiental específicos para los aspectos relacionados con el proceso de combustión, han sido involucrados objetivos relacionados con el uso racional de la energía y control ambiental.

A partir de este contexto y considerando tanto la situación tanto mundial como nacional relacionada con el proceso de combustión, a continuación se presentan los principales factores de competitividad para el sector y su incidencia en la generación de energía térmica:

1.4.1 Materias primas

La **disponibilidad y acceso** a materias primas adecuadas y suficientes es quizá uno de los principales factores que inciden sobre la competitividad relacionada con el proceso de combustión. En Colombia, la no continuidad en la distribución de combustibles, especialmente gas natural, la liberación de los precios y la eliminación de los subsidios que tienen algunos combustibles (derivados del petróleo) ha venido con el tiempo afectando la competitividad de las empresas que utilizan energía térmica para satisfacer las necesidades de su proceso productivo ya que la inestabilidad de los precios y la disponibilidad constante del combustible afecta la continuidad de la producción y la estructura de costos de la empresa. En muchos casos, las empresas utilizan equipos que permiten la utilización de dos combustibles (gas natural y ACPM), con un sencillo ajuste.

Debido a los parámetros normativos en materia ambiental y la incidencia que el proceso de combustión tiene sobre la comunidad, la **calidad** de las materias primas se constituye en otro factor que incide sobre la competitividad de las unidades industriales. La tendencia general se encuentra encaminada a la utilización de combustibles más limpios y que ofrezcan mejores condiciones económicas, razón por la cual muchas unidades industriales han implementado en sus procesos productivos la utilización de gas natural y carbón mineral con bajo contenido de azufre.



1.4.2 Tecnologías disponibles

Para la generación de energía térmica, las empresas establecidas en Bogotá cuentan con equipos y maquinaria en muchos casos superior a los 20 años de utilización, de los cuales un gran porcentaje es de fabricación casera o hechiza, y/o se han constituido en tecnología obsoleta, haciendo que el proceso no sea eficiente, de difícil control y que las emisiones generadas sean mayores y no se tengan los sistemas de control adecuados. Sistemas de combustión de este tipo no son apropiados y causan excesivos consumos de combustible y la emisión de altas cargas contaminantes a la atmósfera, aumentando en muchos casos los costos de operación y por ende de producción.

En la actualidad existe gran variedad de equipos con tecnologías apropiadas para la generación de energía térmica, los cuales garantizan sistemas de combustión y control adecuados, ofreciendo así mayores eficiencias en el proceso de combustión y, por tanto, menor consumo de combustible y menor emisión de agentes contaminantes.

En el caso particular de Colombia, la viabilidad económica de un proyecto que implique reconversión tecnológica se convierte en un factor limitante debido a la capacidad económica de las mipymes (micro, pequeñas y medianas empresas), el desconocimiento técnico y la falta de conciencia ambiental y productiva. Es necesario que las empresas realicen un análisis costo beneficio que muestre las bondades en materia económica, técnica, productiva y competitiva que la reconversión tecnológica y el cambio de combustible puede ofrecer.

1.4.3 Desempeño ambiental

Debido a las implicaciones que en materia ambiental tiene el proceso de combustión y la regulación normativa distrital, la competitividad asociada al proceso y específicamente la competitividad de las unidades empresariales que requieren energía térmica se ve altamente afectada por el desempeño ambiental.

Las empresas usualmente perciben los aspectos relacionados con el tema ambiental como amenazas en su proceso productivo; sin embargo, el desempeño ambiental se constituye en una oportunidad que permite, entre otros aspectos, el aumento de la capacidad productiva, el ahorro y uso eficiente de combustibles, mejores condiciones de trabajo, minimización del impacto ambiental y mejores relaciones con la comunidad vecina.

Entre los principales aspectos que permiten mejorar el desempeño ambiental y fortalecer la competitividad se encuentran la implementación de buenas prácticas de manufactura, las cuales se abordarán posteriormente, la reconversión tecnológica y el cambio de combustible.

1.4.4 Capacitación del recurso humano

Otro de los factores que influyen en la competitividad de las empresas que involucran el proceso de combustión dentro de su esquema productivo es la capacitación del personal, ya que éste es, en última instancia, el que garantiza la implementación de buenas prácticas y condiciones de operación adecuadas que optimicen la utilización del combustible y minimicen el impacto ambiental.

El componente de capacitación se constituye en un elemento importante para garantizar adecuadas condiciones operativas y sensibilizar al personal sobre los aspectos de tipo ambiental y productivo.



A manera de síntesis de lo tratado en este numeral se presenta la matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas), (véase tabla 4), orientada al mejoramiento del desempeño ambiental en el proceso de combustión como factor de competitividad primordial y respondiendo a la orientación de esta Guía ambiental para el proceso de combustión.

Tabla 4. Matriz DOFA relacionada con el proceso de combustión.

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de equipos obsoletos para la generación de energía térmica, afectando la eficiencia del proceso de combustión. • Falta de interés y desconocimiento de los beneficios de actualización tecnológica. • Desconocimiento de la normatividad ambiental y de los instrumentos existentes para mejorar el desempeño ambiental de las empresas. • Escasos recursos para la investigación y desarrollo en el proceso de combustión. • Falta de conciencia sobre los impactos ambientales causados por el proceso de combustión. • La mano de obra no calificada y el trabajo empírico, en ocasiones, dificulta la aceptación de cambios en procesos y operaciones, impidiendo así la implementación de estrategias de producción más limpia. • Desconocimiento de sistemas de control y buenas prácticas de manufactura tendientes a minimizar el impacto ambiental ocasionado con el proceso de combustión. • No existe una definición correcta y clara de líneas de investigación concretas y útiles para el entorno colombiano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficios tributarios para inversiones orientadas a mejorar el desempeño ambiental de las empresas. • Evolución tecnológica del sector energético debido a las presiones ambientales, que condicionan tanto el mercado nacional como las exportaciones mediante la exigencia o sugerencia de certificados de producción más limpia. • La posible introducción de tecnologías más eficientes y ambientalmente compatibles, tanto en el suministro como uso final de energía, contribuirá a la constitución de sistemas energéticos más productivos y a una utilización más eficaz de los recursos disponibles. • Elevado potencial para mejorar la eficiencia del proceso de combustión. • La aparición en el portafolio de opciones energéticas de fuentes de energía no fósiles y nuevas tecnologías de conversión y el creciente interés en el desarrollo de las energías renovables como contribución a un sistema energético global sostenible en el largo plazo. • Investigar y difundir tecnologías de energía renovable para aumentar la participación de las fuentes de este tipo de energía en la producción.
FORTALEZAS	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • La existencia de una buena oferta de opciones energéticas (combustibles). • Alta adaptabilidad al cambio y actualización del proceso de combustión orientada a reducir los costos de producción y minimizar el impacto ambiental. • Generación de conciencia ambiental en la comunidad empresarial en el tema de emisiones atmosféricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuación en el costo de los combustibles principalmente de los derivados del petróleo (gas natural, ACPM, etc.). • Inversiones de capital económico y humano en tecnologías más eficientes, pero cuyos resultados puedan ser vistos sólo en el largo plazo, pueden ser consideradas poco atractivas en un ambiente de mercado donde la rentabilidad de corto plazo es el principal criterio de decisión.

2. ANÁLISIS AMBIENTAL DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

24

En este capítulo se presenta la evaluación del impacto ambiental asociado al proceso de combustión.

El proceso de combustión, como fuente de generación energética, en gran parte de las unidades industriales a nivel mundial y específicamente en Bogotá, se constituye en un proceso altamente masificado, lo cual, sumado a la naturaleza del mismo, ocasiona graves alteraciones al ambiente.

Debido al proceso de combustión como tal, o las actividades asociadas a dicho proceso y a las prácticas operativas de bajo nivel tecnológico utilizadas, se generan problemas ambientales que afectan a los diferentes componentes del medio, siendo el recurso atmosférico el mayor incidencia se tiene afectado.

2.1 VALORACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Para el desarrollo de la valoración del impacto ambiental generado por el proceso de combustión y las actividades asociadas al mismo, se adoptó la metodología aplicada en la *Guía Minero Ambiental de Exploración*, la cual es aceptada por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial para este fin. Dicha metodología presenta la siguiente definición base:

Impacto ambiental: es el conjunto de efectos positivos y negativos que una actividad económica, en marcha o proyectada, ejerce sobre el nivel de vida y el ambiente físico de su zona de influencia. El concepto de impacto ambiental y la evaluación del mismo considera que el crecimiento económico real y a largo plazo debe estar sustentado con un plan de protección ambiental. Por lo general, la evaluación del impacto ambiental es un estudio formal que origina decisiones en el nivel gerencial dentro del proceso de planificación de grandes proyectos dedicados al uso intensivo de mano de obra local, recuperación y protección de los recursos naturales o de minimización de desechos en general.

La valoración y evaluación del impacto ambiental resulta de un diagnóstico de la presión que ejercen las diferentes industrias sobre el medio ambiente, específicamente en nuestro caso aquellas que requieren para sus procesos la utilización de energía térmica, y para esto son evaluados los aspectos relacionados con generación de emisiones, vertimientos y residuos sólidos, así como las consecuencias del proceso sobre la salud humana, con el objeto de promover la toma de decisiones en el nivel gerencial, público y privado, a favor del uso racional de los recursos naturales, el mejoramiento de la eficiencia del proceso de combustión y la minimización de los efectos sobre la población afectada¹.

¹. Entiéndase por población afectada tanto a los trabajadores de las empresas como a los habitantes de la zona de influencia de las unidades productivas.



Los principales aspectos e impactos ambientales asociados al proceso de combustión se pueden resumir en los siguientes puntos:

2.1.1 Contaminación atmosférica

Ocasionada por la emisión de gases y partículas, entre las que se cuentan monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, material particulado, humos, metales pesados y la formación de agentes oxidantes como el ozono, al igual que ácidos como nítrico y sulfúrico. La emisión de las sustancias anteriormente mencionadas es causante de los impactos ambientales smog fotoquímico, lluvia ácida y calentamiento global, principalmente.

El *smog* fotoquímico se refiere a la formación de constituyentes oxidantes en la atmósfera, como el ozono, debido a la reacción fotoinducida de los hidrocarburos o compuestos orgánicos volátiles COV, y óxidos de nitrógeno.

La lluvia ácida se refiere a las reacciones atmosféricas que pueden ocasionar una precipitación con un valor de pH menor que el de las precipitaciones normales. Los agentes causantes de la formación de lluvia ácida están asociados con la emisión de dióxido de azufre y posiblemente con la emisión de óxidos de nitrógeno, junto con ácido clorhídrico gaseoso.

La influencia de la contaminación del aire sobre los balances térmicos de la atmósfera y sobre la absorción y reflexión de la radiación solar incidente se constituye en un aspecto ambiental relevante. Debido al aumento del nivel de dióxido de carbono y otros compuestos carbonados en la atmósfera, la superficie de la tierra ha comenzado a mostrar mayores temperaturas, ocasionando el cambio climático de los ecosistemas a nivel mundial.

Tabla 5. Emisiones asociadas a la combustión de algunos combustibles.

Combustible	Unidad (Un)	Partículas Kg/Un	SO ₂ Kg/Un	NO _x Kg/Un	Hidrocarburos Kg/Un	CO Kg/Un
Carbón bituminoso	Ton	6,5	19	7,5	0,5	1
Fuel oil	Ton	2,87	19	7,5	0,37	0,52
Petróleo	m3	0,21	0,01	1,43	0,036	0,19
Gas natural	1000 m3	0,29	6,6	3	0,048	0,27
Gas licuado	Ton	0,38	0,02	2,6	0,065	0,35
Kerosene	Ton	3	17	2,3	0,4	0,25

Fuente: HOUGEN. Principios de los procesos químicos.



Por otro lado, si se tiene en cuenta que el proceso de combustión maneja altos requerimientos de oxígeno y que la fuente de suministro utilizada en la mayoría de los casos corresponde a aire atmosférico, debe garantizarse suministro continuo y adecuado del mismo, el cual se logra mediante la utilización de un ventilador generalmente, el cual puede llegar a ocasionar altos niveles de **ruido** si no es operado adecuadamente y se garantiza el mantenimiento preventivo del mismo.

2.1.2 Contaminación hídrica

La contaminación hídrica relacionada con el proceso de combustión, se encuentra asociada a la utilización del recurso agua en procesos de enfriamiento y limpieza de equipos principalmente. La carga contaminante del vertimiento en estos casos se encuentra relacionada con la presencia de fosfatos, los cuales se emplean para evitar la corrosión y la formación de costras en tuberías.

El lavado de carbón de forma inadecuada, cuando ésta es la fuente de combustible utilizada, así como un inadecuado almacenamiento del mismo, causa contaminación de los cuerpos de agua superficial por arrastre de sustancias a los mismos.

La lluvia ácida, provocada por las emisiones gaseosas, causa una alteración grave sobre los cuerpos de agua superficial, y de esta forma se ven alterados los ecosistemas.

2.1.3 Residuos Sólidos

El empleo de combustibles de tipo sólido trae como consecuencia la generación de cenizas e inquemados, los cuales se constituyen en residuos sólidos de carácter básico.

De otro lado en las operaciones de limpieza en los equipos de combustión, así como en la manipulación de los combustibles, pueden tenerse residuos sólidos de carácter especial, representados principalmente en trapos y estopa impregnados de combustible.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

En la tabla 6 se presentan los principales impactos de tipo ambiental ocasionados con el desarrollo del proceso de combustión como tal, así como las etapas asociadas a dicho proceso. Se discrimina la actividad desarrollada, la cual es relacionada con el componente ambiental afectado.



Tabla 6. Aspectos ambientales por actividad.

Componente ambiental	Etapa	Manejo y adecuación de combustible	Proceso de combustión	Mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso de combustión
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. • Emisión a la atmósfera de material particulado (en caso de utilizarse combustibles sólidos). • Emisión de vapores tóxicos. • Emisión de vapores inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones a la atmósfera de material particulado (PM10 y partículas suspendidas totales), óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y metales pesados. • Formación de contaminantes secundarios entre los que se encuentran ácido sulfúrico, ácido nítrico y agentes oxidantes como el ozono. 		
Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Filtraciones a cuerpos y fuentes de agua, ocasionadas por derrame de combustibles. 		<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de agua para las operaciones de limpieza y ajustes a los equipos utilizados en el proceso de combustión, tales como calderas y hornos. • Generación de vertimientos industriales con carga contaminante de fosfatos, aceites y grasas, hidrocarburos y sólidos principalmente. 	
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Combustibles sólidos de características no adecuadas para su incorporación en el proceso de combustión. • Residuos peligrosos asociados a trapos y estopa impregnados de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de cenizas e inquemados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cenizas y hollín acumulados en los sistemas de combustión. • Residuos peligrosos asociados a trapos y estopa impregnados de combustible y cenizas. 	

La evaluación de los impactos más significativos generados durante el proceso de combustión y las actividades asociadas a éste se realizará por medio de la matriz cualitativa, la cual posee las convenciones presentadas en la tabla 7.



Tabla 7. Convenciones de la matriz de impacto ambiental.

Impacto	Convención
Alto positivo	△
Alto negativo	▲
Medio positivo	□
Medio negativo	■
Bajo positivo	○
Bajo negativo	●
No aplica	NA

Figura 4. Matriz de impacto ambiental del proceso de combustión.

Actividades			PROCESO DE COMBUSTIÓN Y ACTIVIDADES ASOCIADAS			
			Manejo y adecuación	Combustión	Mantenimiento equipos	
Impactos potenciales						
COMPONENTE AMBIENTAL	ABIOTICO	Atmosférico	Emission de material particulado.	●	▲	NA
			Emission de gases, vapores y/o neblinas.	●	▲	NA
			Generación de ruido.	NA	▲	NA
	Hídrico		Consumo de agua.	NA	NA	■
			Generación de vertimientos con carga contaminante.	NA	NA	■
		Suelo	Generación de residuos sólidos.	●	■	■
	BIOTICO		Equilibrio de los ecosistemas.	NA	▲	NA
	SOCIAL		Generación de empleo.	○	○	○
			Afectación de la salud de empleados y comunidad.	■	▲	●



La matriz presentada permite resaltar los altos impactos ambientales negativos asociados al proceso de combustión y su afectación directa sobre el componente atmosférico, el componente biótico y la afectación a la salud de empleados y la comunidad en general.

2.3 IMPACTOS OCUPACIONALES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

29

Teniendo en cuenta las afecciones que puede llegar a causar el proceso de combustión sobre la salud de los trabajadores y los habitantes del área vecina en que se desarrolla el proceso, se presentan a continuación los principales impactos de tipo ocupacional ocasionados:

- Los óxidos de azufre, generados en los procesos de combustión, se disuelven en las mucosas del tracto superior respiratorio, cuya función es proteger e impedir el avance de sustancias hacia regiones más delicadas, de esta forma puede penetrar hasta las zonas más vulnerables de los pulmones causando graves daños.
- La ocurrencia de un proceso de combustión incompleta puede conllevar a la formación de compuestos carcinógenos.
- El monóxido de carbono, emitido por la ocurrencia de combustiones incompletas actúa sobre la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno al organismo. En altas concentraciones, puede causar la muerte en seres humanos.
- La exposición a material particulado puede producir conjuntivitis, quemaduras corneales, gastritis crónica, perforación del tabique nasal, dermatitis vesicular, bronquitis y enfisemas, además de causar una severa irritación en la piel.
- La exposición continua a vibraciones y ruidos, producidos principalmente por el sistema de alimentación de aire al proceso de combustión pueden ser causantes de reducción de la capacidad auditiva temporal o permanente y estrés. Las vibraciones lesionan los músculos y los nervios, ocasionando neuralgias y calambres.
- En las áreas cercanas al área en que se desarrolla el proceso de combustión se manejan altos niveles de humedad y calor, generando ambientes incómodos de trabajo. La exposición prolongada a estos factores puede provocar salpullidos, calambres y agotamiento.



3. BUENAS PRÁCTICAS Y SISTEMAS DE CONTROL EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN

30

Asociados a los focos de emisiones presentados previamente, existen buenas prácticas (modos de operación adecuados) y sistemas de control que permiten la reducción y la minimización en la emisión de contaminantes a la atmósfera.

En este capítulo se abordará el desarrollo de buenas prácticas y sistemas de control como elementos principales al buscar ahorro de combustible y minimización de la contaminación. La correcta adopción de estas buenas prácticas, considerando las especificidades de cada empresa, sin duda traerá grandes beneficios, algunos de los cuales se listan a continuación:

- Reducción de los costos de producción, asociado a menor consumo de combustible e insumos.
- Minimización del impacto ambiental generado en el proceso productivo.
- Disminución de la generación de residuos y los costos asociados a su disposición.
- Disminución de los riesgos tanto para los empleados como para los vecinos del área de ubicación de la empresa, generados por la utilización de sustancias peligrosas.
- Optimización de equipos y procesos para aumentar su productividad.
- Aumentar el potencial competitivo, tanto en el ámbito nacional como internacional.
- Disminuir las inversiones en sistemas de control al final del proceso.

Las *buenas prácticas* están dirigidas tanto a los trabajadores como a los directivos de las empresas para que perciban que hay una serie de modificaciones en los hábitos laborales, de fácil aplicación y bajo costo económico, que comportan un aumento de la calidad ambiental, una optimización del proceso productivo y por tanto generan mayor competitividad y acceso a los mercados internacionales, entre otros. Es importante que en todas las secciones de una industria se trabaje de manera conjunta y se comparta la información necesaria para que se realicen las operaciones habituales, contribuyendo a la minimización y a la prevención de la contaminación ambiental.

3.1 BUENAS PRÁCTICAS OPERATIVAS

En este ítem se agrupan todas aquellas actividades encaminadas a la modificación y al rediseño de las actividades asociadas al proceso de combustión y de los sistemas utilizados para tal fin.

Entre las principales actividades catalogadas como buenas prácticas se tiene el control del proceso de combustión y su monitoreo, actividad que se constituye en una de las etapas fundamentales para la búsqueda de ahorros y eficiencias en la utilización de combustibles. Se debe tener en cuenta la proporción correcta



de aire-combustible, con lo cual se evita “arrojar” energía por la chimenea o enfriar el hogar de la caldera con aire de exceso.

3.1.1 Control del caudal de aire

El control del aire aportado para combustión tiene gran importancia. Generalmente siempre es necesario un exceso de aire para que la combustión sea completa y no se produzcan inquemados. Este exceso puede estar entre el 10% y el 1.400%, dependiendo de la sofisticación del sistema de control de combustión, el objetivo del proceso y el tipo de combustible utilizado. Algunos excesos de aire típicos se presentan en la tabla 8.

El control del caudal de aire, aparte de garantizar la proporción de la mezcla combustible deseada, determina de alguna manera, la temperatura de los gases de combustión y la cantidad de energía que se puede aprovechar de los mismos, acercando con esto al proceso de combustión completa.

Algunos aspectos importantes para tener en cuenta en la regulación del caudal de aire en el proceso de combustión son los siguientes:

- Al aumentar el exceso de aire, se disminuye la eficiencia de combustión, aumentando así el consumo de combustible.
- Al aumentar el exceso de aire y manejar dentro del proceso temperaturas excesivamente altas, se reduce la eficiencia térmica del sistema.
- En los sistemas de combustión, no deben permitirse diferencias de temperaturas entre la salida de chimenea y el proceso en sí, superiores a los 150° C.

Tabla 8. Excesos de aire recomendados, según tipo de combustible.

COMBUSTIBLE	% EXCESO DE AIRE
Gas natural	10
Gas licuado de petróleo	15
Fuel oil	20-25
Crudo de Castilla	20-50
Carbón mineral	25-30

Fuente: Acercar. CCB.

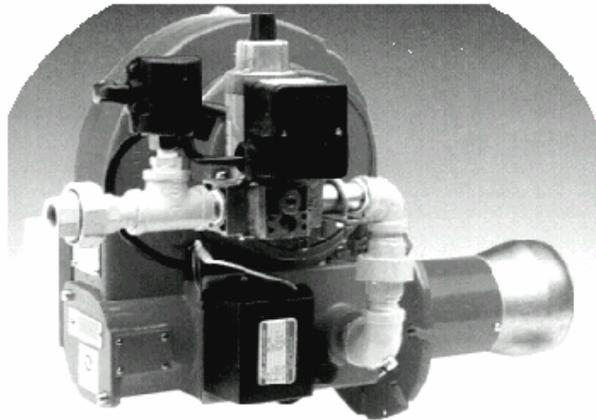


3.1.2 Control de mezcla en el quemador

El ajuste de los requerimientos de aire en un proceso de combustión implica el desarrollo de ajustes directamente sobre los elementos que actúan en dicho proceso; uno de éstos es el **quemador**. En procesos de combustión complejos, como pueden ser los sucedidos en calderas pirotubulares, el quemador debe poseer un margen de operación para distintos niveles de requerimientos de energía, además de responder a ciclos de control automático de encendido y seguridad. En este caso son utilizados quemadores como el indicado en la figura 5.

32

Figura 5. Quemador de paquete integral.



El quemador de la figura 5, posee soplador de aire y válvula reguladora de gas, integradas en un solo cuerpo. La válvula reguladora de gas actúa de acuerdo con un programa preestablecido de encendido y responde a los distintos escenarios de carga. Igualmente, la cantidad de aire es ajustada automáticamente de acuerdo con los requerimientos puntuales del proceso.

Cada quemador debe poseer facilidades para el ajuste de la mezcla. Cada industria deberá elegir el tipo de quemador indicado acorde con las exigencias de sus procesos, ya que en el mercado existe gran variedad de quemadores y sistemas de control de la relación aire-combustible asociado a cada uno. Entre los parámetros que deben tenerse en cuenta para la selección de un quemador, se incluyen la tecnificación del proceso, el costo de la energía (combustible) y las condiciones disponibles de presión.

Otros aspectos que deben tenerse en cuenta en la operación de un quemador son los siguientes:

- Revisar y limpiar periódicamente boquillas de quemadores y/o parrillas.
- Utilizar la temperatura y presión de atomización (datos suministrados por el fabricante) acorde con la viscosidad del líquido en caso de trabajar con un combustible en este estado.
- No sobrepasar la temperatura de atomización, ya que esto ocasiona un mayor consumo energético y en consecuencia mayores costos en el consumo de combustible.
- Evaluar que la relación aire-combustible se pueda controlar consistentemente.



- Utilizar el fluido de atomización adecuado para aquellos quemadores que así lo requieran.
- Mantener el rango de presión del combustible en los valores recomendados por el fabricante en el caso de combustibles gaseosos.
- Precalentar el aire de combustión con el calor residual de los humos.

3.1.3 Recirculación de los gases de escape

Mediante la recirculación de los gases de escape se consigue recuperar parte de los hidrocarburos no quemados en el anterior ciclo de combustión, reduciendo así el costo de combustible y optimizando la eficiencia energética del sistema de combustión. La recirculación de los gases de escape dependerá de la eficiencia del sistema de combustión que se tenga, de la disponibilidad de espacio y del sistema de combustión como tal.

Otro sistema de recirculación de gases que puede implementarse en las unidades empresariales es utilizar dichos gases de escape como elementos de precalentamiento del combustible alimentado y/o el aire necesario para el proceso de combustión.

3.1.4 Control de combustible

Teniendo en cuenta que gran parte de las emisiones generadas al ambiente por los procesos de combustión se refieren al tipo de combustible utilizado, las unidades empresariales deben garantizar un combustible de características apropiadas (contenido de azufre y nitrógeno). De forma similar, debido a que el proceso de combustión se constituye en una reacción química que ocurre en fase gaseosa, el sistema empleado para el desarrollo de procesos debe garantizar una adecuada atomización del combustible, en el caso de que este sea líquido, y un adecuado tamaño de partícula, si se trabaja con un combustible sólido (carbón).

Es recomendable en este punto que el empresario solicite a su proveedor ficha técnica y análisis fisicoquímico del combustible suministrado.

3.1.5 Otras buenas prácticas operativas

Dentro de otras prácticas operativas que hacen de la combustión un proceso más eficiente se tienen las siguientes:

- Limpiar las superficies de intercambio de calor periódicamente.
- Controlar los aumentos progresivos en la temperatura de humos y gases de escape.
- Realizar deshollinamiento periódico a los sistemas de combustión.
- Revisar los sistemas de control tales como termómetros y manómetros, ya que su descalibración puede llegar a afectar ostensiblemente el desarrollo del proceso.
- No permitir concentraciones de monóxido de carbono superiores a 400 mg/L en los gases de escape.
- Atomizar los líquidos a la presión recomendada y/o mediante la utilización de fluidos, con el fin de acercar el proceso a la combustión completa.



- Vigilar y evaluar periódicamente la coloración de la llama.
- Regular el tiro de la chimenea, mediante la utilización de un damper. Es importante anotar que excesos de aire en la chimenea pueden causar el arrastre de material particulado y su posterior emisión a la atmósfera.
- Drenar periódicamente el agua que pueda almacenarse en los tanques de almacenamiento de combustible.
- Manejar registros generales del proceso de combustión, en los que se incluyan, entre otros parámetros, presión, temperatura de aire y combustible.
- Si el sistema de combustión lo permite, realizar el calentamiento y alimentación en contracorriente.

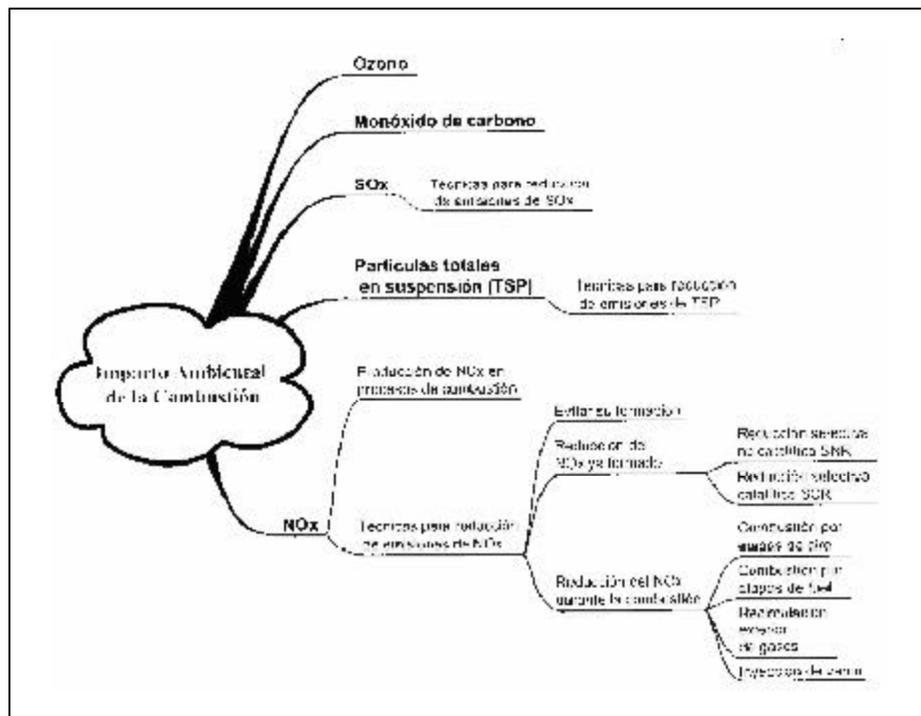
3.2 BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES Y SISTEMAS DE CONTROL DE LA EMISIÓN

3.2.1 Depuración de gases de combustión

Los sistemas de control de emisiones en los procesos de combustión tienen en cuenta la implementación de un sistema o dispositivo que permita la reducción de agentes contaminantes en los gases de salida. Los principales dispositivos utilizan convertidores catalíticos y procesos de adsorción y absorción (retención de los agentes contaminantes en una sustancia).

En la figura 6 se observan los diferentes contaminantes que genera el proceso de combustión y sus sistemas de control típicos.

Figura 6. Sistemas de control de contaminantes.



Fuente: Koch Internacional. Conceptos generales sobre la combustión.

A continuación se describen los principales métodos de control de emisión de gases del proceso de combustión.

3.2.1.1 Eliminación de gases por adsorción

Adsorción es el proceso mediante el cual las moléculas de un contaminante se separan de la corriente gaseosa y se adhieren a la superficie de un material sólido llamado adsorbente, el cual es un material poroso (que posee gran superficie interna) a través del cual se hace pasar aire.

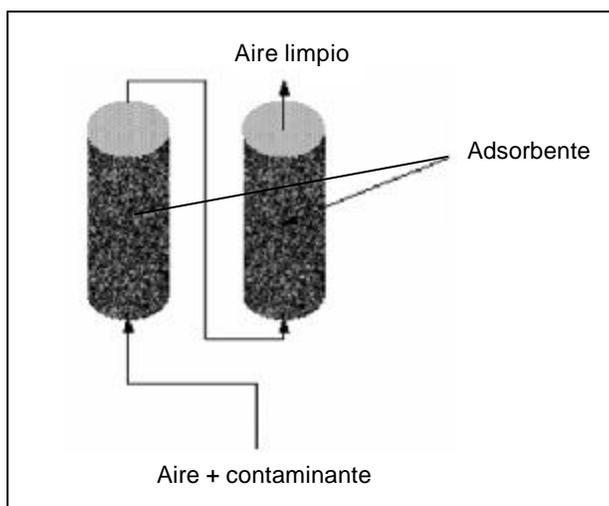
35

La adsorción es una técnica especialmente útil en los casos en que:

- El gas contaminante no es combustible, o es difícil de quemar.
- El contaminante es lo suficientemente valioso para justificar su recuperación.
- El contaminante se encuentra en una concentración muy diluida en el sistema de escape.

La figura 7 presenta el esquema básico del proceso de adsorción.

Figura 7. Proceso de adsorción.



En la tabla 9 se presentan algunos tipos de adsorbente y la efectividad de los mismos.

Tabla 9. Adsorbentes utilizados para el control de emisiones del proceso de combustión.

Adsorbente	Superficie efectiva (m ² /g)
Alúmina activada	200-400
Sílice	300-900
Zeolitas (aluminosilicatos)	Variable
Carbón activado	300-3.000

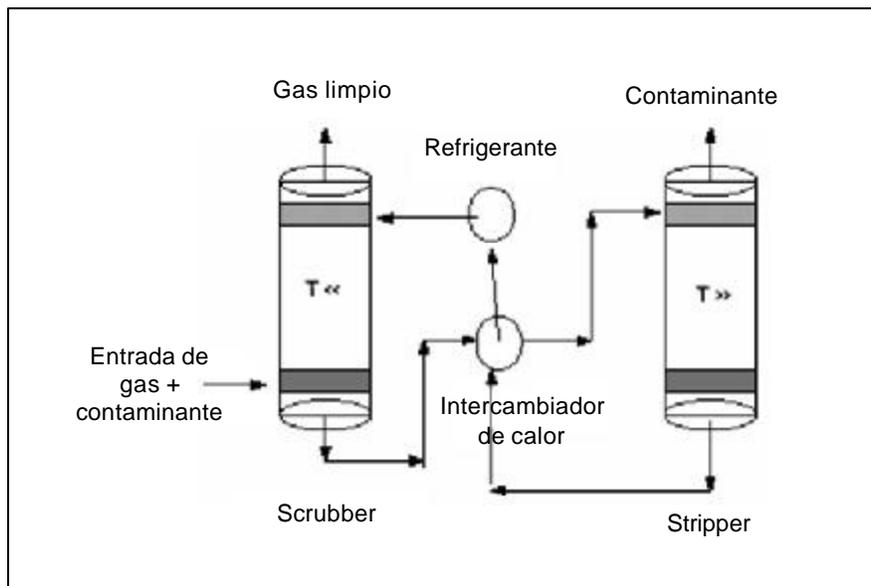
3.2.1.2 Eliminación de gases por absorción sin reacción (lavado)

La absorción es el proceso mediante el cual se hace pasar el gas con agentes contaminantes a través de un líquido solvente en el que éstos o el contaminante de interés es soluble. En el campo del control de la contaminación esta operación se conoce como *lavado*.

La figura 8 presenta el esquema general del proceso de absorción.

36

Figura 8. Esquema general de eliminación de un componente por absorción.



A continuación se muestran algunos ejemplos de sustancias susceptibles de eliminación por absorción y los solventes utilizados.

Tabla 10. Contaminantes eliminados por absorción.

Contaminante	Solvente
Compuestos orgánicos volátiles	<ul style="list-style-type: none"> Solvente orgánico con punto de ebullición superior al componente a eliminar.
Óxidos de azufre	<ul style="list-style-type: none"> Agua. Solución acuosa con hidróxido de calcio. Solución acuosa con carbonato cálcico.
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> Agua.



Teniendo en cuenta la especificidad y las características propias de los agentes contaminantes generados en el proceso de combustión, se hace necesario describir brevemente los sistemas de control y las prácticas operativas adecuadas (buenas prácticas), utilizadas para minimizar la carga contaminante de dichos agentes emitida a la atmósfera en los gases de combustión.

3.2.2 Reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)

37

La formación de óxidos de nitrógeno durante el proceso de combustión se produce de tres formas principales:

- NOx térmico: generado por oxidación térmica del nitrógeno presente en el aire.
- NOx de combustible: generado por reacción del nitrógeno propio del combustible utilizado.
- NOx puntual o inducido: generado por otras reacciones.

Las principales variables que influyen en la producción de óxidos de nitrógeno son excesos de aire mayores a los recomendados y temperatura alta en los gases de combustión.

3.2.2.1 Buenas prácticas en la reducción de óxidos de nitrógeno

Las principales prácticas tendientes a la reducción de óxidos de nitrógeno en los gases de escape son:

Recirculación de gases de combustión

Parte de los gases fríos de la combustión se reinyectan en la zona de combustión. Este gas adicional actúa como un sumidero térmico y reduce la temperatura de combustión global, además de reducir la concentración de oxígeno. Ambos efectos favorecen una reducción de las emisiones de NOx.

La principal desventaja de esta práctica es el costo de la tubería asociada, ya que están implícitos grandes volúmenes de gas.

Combustión por etapas

El principio de esta práctica radica en que bajo exceso de aire en el proceso de combustión, desfavorece la formación de óxidos de azufre.

El combustible y el aire son quemados en condiciones casi estequiométricas; el 85% – 90% del aire requerido se introduce en el quemador junto con el combustible. Debido a la combustión incompleta, la temperatura del gas se mantiene baja en esta primera etapa de la combustión disminuyéndose así la formación de NOx. Posteriormente es llevado a cabo el proceso de combustión completa, mediante el suministro de aire secundario de forma tal que no se genere monóxido de carbono ni hidrocarburos remanentes en los gases de escape.

La combustión en dos etapas es difícil de adaptar a sistemas de combustión que utilicen como combustible carbón, además la falta de un exceso de aire, podría generar distribuciones peligrosas del combustible y el aire.



Otro inconveniente que puede presentarse es el aumento en las emisiones de monóxido de carbono, a causa de la primera etapa del proceso de combustión.

Quemadores con baja emisión de NO_x / Configuración del quemador del horno

La configuración del quemador tiene un importante papel en el control de óxidos de nitrógeno. La alimentación tangencial produce reducciones de NO_x del 50 al 60% sobre las técnicas de alimentación convencionales. La localización del quemador es importante debido al tipo de flama producida y al grado de turbulencia.

El diseño de un quemador con baja emisión de NO_x debe considerar:

- La relación de aire primario con combustible pulverizado y la mezcla de aire secundario.
- La máxima transferencia de calor y masa entre la mezcla del aire primario y combustible pulverizado con los productos de combustión en el horno.
- Combustión eficiente del combustible con una fracción mínima de aire primario.
- Disminución de temperatura del núcleo de la llama sin afectar la estabilidad de ignición en la eficiencia de la combustión.

3.2.2 Sistemas de control en la reducción de óxidos de nitrógeno en la emisión del proceso de combustión

En algunos procesos de combustión no es posible utilizar controles directos de la combustión para alcanzar niveles convenientes para las emisiones de NO_x; es necesario en estos casos eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases fríos de la combustión antes de descargarlos a la atmósfera.

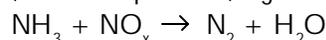
Se debe tener en cuenta que el volumen de los gases de combustión que requiere tratamiento es enorme para cualquier unidad productiva, factor que incide directamente en los costos. Los principales sistemas de control de NO_x son:

3.2.2.1 Reducción catalítica

La reacción con otro compuesto reduce los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular (N₂; el contenido en el aire). Se consideraran dos tipos de reducción:

3.2.2.2 Selectiva no catalítica SNR

Inyección de amoníaco en zona radiante, a alta temperatura, logrando una reducción de hasta el 90% de óxidos.



3.2.2.3 Reducción selectiva catalítica SCR

Inyección de amoníaco a temperatura menor que el caso anterior. Sus desventajas son el alto costo y la corrosión en los sistemas de combustión.

3.2.2.4 Adsorción y absorción

La eliminación de los óxidos de nitrógeno de los gases de combustión puede hacerse por las técnicas de adsorción y/o absorción descritas previamente.



3.2.3 Reducción de emisiones de óxidos de azufre (SO_x)

Casi las tres cuartas partes de las emisiones de dióxido de azufre se originan por el consumo de combustibles fósiles. Por tanto, es de gran importancia reducir su generación en los procesos industriales.

3.2.3.1 Buenas prácticas en la reducción de óxidos de azufre en la emisión

Existen dos métodos o alternativas posibles, que se pueden utilizar para reducir las emisiones de dióxido de azufre a partir del consumo de combustibles fósiles. Éstas son:

Cambio a un combustible con bajo contenido de azufre

Una solución potencial consiste en el cambio a combustibles con bajo contenido de azufre, como el gas natural, gas natural licuado y petróleo o carbón con bajo contenido de azufre.

Uso de carbón y petróleo desulfurizados

El azufre está presente en el carbón bajo dos formas principales, orgánicas e inorgánicas. El compuesto inorgánico se puede someter a la remoción física mediante el lavado, mientras que el azufre en forma orgánica está químicamente enlazado en el carbón y, por tanto, se requieren procesos químicos más complicados y costosos como la gasificación del carbón o su conversión a un aceite o un material sólido sintético.

La desulfuración del petróleo natural se puede realizar por medio de procesos disponibles comercialmente, los cuales pueden llegar a ser costosos.

3.2.3.2 Sistemas de control en la reducción de óxidos de azufre en la emisión del proceso de combustión

Depuración con caliza seca en lechos fluidizados

El proceso consiste en añadir caliza seca al carbón pulverizado. Los óxidos de azufre formados reaccionan con la caliza para formar sulfato de calcio, producto residual que queda junto con las cenizas que quedan del proceso de combustión. Un proceso de este tipo elimina más del 90% de los óxidos de azufre.

La piedra caliza se puede regenerar y reutilizar durante unos diez ciclos sin un deterioro serio de su eficiencia de remoción.

Depuración por cal y caliza

Se lava el gas residual con una solución del 5% al 15% de sales de sulfitos/sulfatos, que también contienen cantidades de cal y caliza. Los óxidos de azufre reaccionan con la mezcla para formar sales que son separadas por decantación. El líquido remanente se recircula al sistema de lavado después de haber añadido nuevas cantidades de cal o caliza.

Entre los principales problemas de este proceso se incluyen la formación química de costras, corrosión, erosión, y la disposición de los residuos sólidos resultantes.



Depuración mediante caliza húmeda, modificada con sulfato de magnesio

Es posible absorber los óxidos de azufre como sulfatos en un líquido soluble. En este caso se utiliza sulfato de magnesio en el líquido depurador, lo cual conduce a un aumento en la capacidad absorbente de los óxidos y a la eliminación efectiva de estos en el sistema de depuración.

Depuración por óxido de magnesio

El óxido de magnesio en solución en agua funciona de la misma manera que funciona la caliza o la cal en el proceso de depuración por cal; la diferencia es que en este caso la depuración es regenerativa. La absorción de los óxidos por este proceso conduce a la formación de sulfito (o sulfato) de magnesio, la separación o calcinación de este sólido regenera el óxido de magnesio (MgO) y produce una corriente gaseosa. El óxido de magnesio regenerado se regresa al depurador.

Depuración mediante álcali

Este proceso tiene en cuenta el uso de sodio o amoníaco. Con sodio, una solución de sulfito de sodio lava los óxidos de azufre del gas de la combustión y se forma bisulfito de sodio. El sulfito de sodio puede ser regenerado mediante evaporación.

En el proceso de depuración por el amoníaco, los contaminantes se recogen primero en una solución de amoníaco en una sección de depuración; en una segunda sección de reacción o conversión, la solución pasa a amoníaco, dióxido de azufre y agua.

Depuración por doble alcalí

La etapa primaria implica generalmente una solución en agua de óxido de sodio o de hidróxido de sodio, la que se combina con óxidos de azufre para formar sulfito de sodio, la solución utilizada en el depurador se pasa a una etapa secundaria donde se añade cal. La solución alcalina de sodio se regenera continuamente en el reactor y se recircula al absorbedor de la etapa primaria.

Depuración en seco

La solución absorbente (carbonato de sodio o cal apagada) es bombeada a atomizadores que crean un rocío de gotas muy finas, las cuales se mezclan con el gas procedente de la combustión en una cámara, y la absorción subsiguiente conduce a la formación de sulfitos y sulfatos dentro de las gotas. De manera simultánea, el calor del gas de la combustión evapora el agua de la gota, por tanto se forma un polvo seco antes de que el gas salga del sistema de aspersion.

3.2.4. Control de partículas totales en suspensión

Dentro de los factores para tener en cuenta antes de hacer una adecuada selección del equipo de colección de partículas, se encuentran: propiedades físicas y químicas de las partículas; la corriente del gas; las concentraciones de partículas que se podrían esperar, la temperatura y presión de la corriente de flujo, la humedad, la naturaleza de la fase gaseosa y la condición requerida para el efluente tratado. A continuación se describen las cinco clases básicas de equipos de colección de partículas.

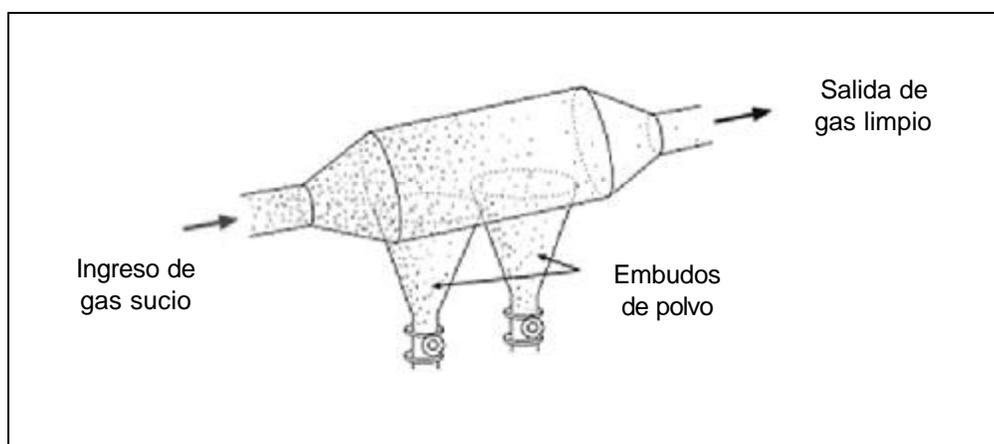


3.2.4.1 Cámara de sedimentación por gravedad

Se puede emplear la fuerza gravitacional para remover partículas en cámaras de sedimentación. En general, esto se aplica a partículas mayores de 50 micras si la partícula tiene una baja densidad, y tan bajas como 10 micras si el material es razonablemente denso. Para que una cámara impida el arrastre de las partículas asentadas, la velocidad del gas deberá ser uniforme y relativamente baja. Las tasas de flujo del gas industrial no son a menudo constantes; la eficiencia global de una cámara de sedimentación aumenta con las cargas bajas y decrece con las sobrecargas. La figura 9 presenta el esquema básico de una cámara de sedimentación.

41

Figura 9. Esquema de funcionamiento de una cámara de sedimentación.



Fuente: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

3.2.4.2 Separadores ciclónicos

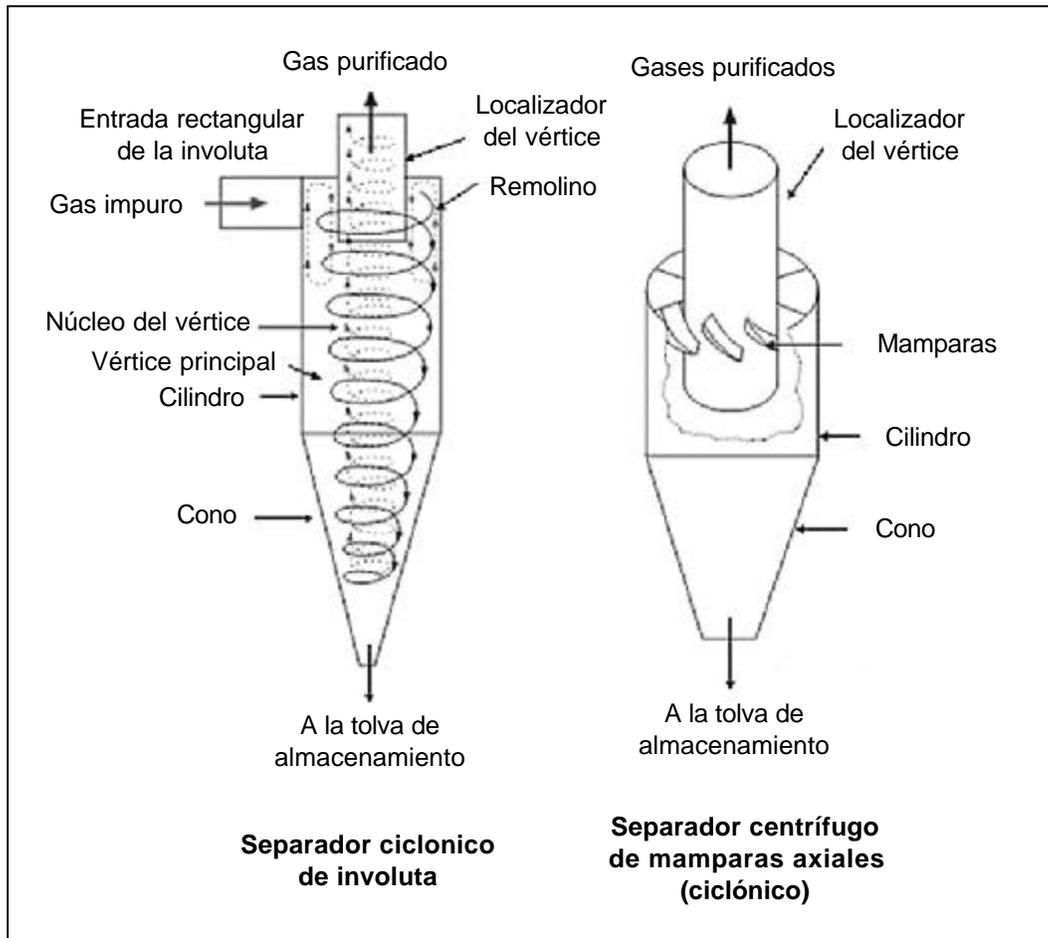
Son dispositivos que emplean la fuerza centrífuga generada haciendo girar una corriente de gas con el fin de separar las partículas del gas que las transporta. La unidad separadora puede ser una sola cámara grande, unas cuantas cámaras tubulares, en paralelo o en serie, o una unidad dinámica similar a un soplador. La fuerza centrífuga debida a una alta tasa de rotación lanza las partículas de gas contra las paredes externas del cilindro y las partículas contaminantes resbalan por las paredes hasta llegar a la tolva de almacenamiento.

Existen dos clases principales, (véase figura 10): los tipos de paletas axiales y los de involutas. La única diferencia que existe entre los dos se basa en el método de introducción del gas dentro del casco cilíndrico con el propósito de impartirle un movimiento giratorio que sea suficiente.

Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de 10 micras o mayor.



Figura 10. Esquema de funcionamiento de un separador ciclónico.



Fuente: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

3.2.4.3 Colectores húmedos

En un colector húmedo, se utiliza un líquido, por lo general agua, para capturar las partículas o para aumentar el tamaño de los aerosoles. En cualquiera de los dos casos, el tamaño aumentado resultante facilita la remoción del contaminante de la corriente de gas. Partículas finas tanto líquidas como sólidas, que varían entre 0,1 y 20 micras, se pueden remover de un modo efectivo por medio de este método. El fin primordial del dispositivo debe ser la adecuada dispersión de la fase líquida, a fin de obtener un buen contacto entre la fase de las partículas y la fase líquida.

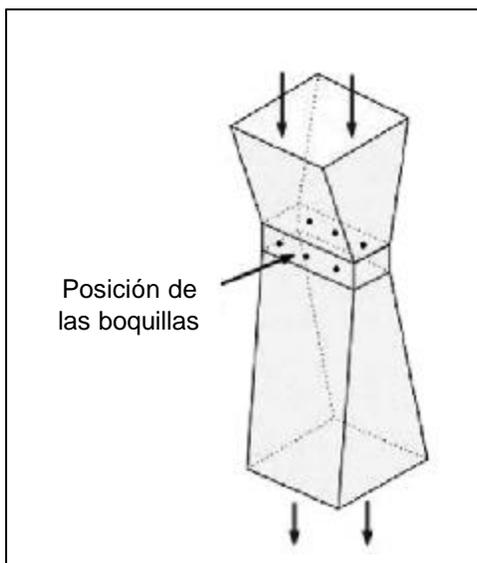
Existen tres clases básicas de estos dispositivos:

- **Lavadores de cámara de aspersión:** el gas contaminado fluye hacia arriba y las partículas chocan con las gotas del líquido producidas por boquillas apropiadas situadas a través del paso del flujo. Si la tasa de flujo de gas es relativamente baja, las gotas del líquido contaminado se sedimentan por gravedad hacia el fondo de la torre.



- **Lavadores ciclónicos:** el tipo más simple se obtiene insertando bancos de boquillas en forma de anillo dentro de un ciclón convencional. La solución cargada de polvo fluye por las paredes hasta el fondo, donde es retirada. En general tienen una eficiencia colectora alta.
- **Lavadores venturi:** un venturi es un canal de flujo rectangular o circular que converge a una garganta de sección estrecha y luego diverge nuevamente a su área original en la sección transversal. La acción de lavado ocurre durante la introducción de agua, ya sea en la sección de la garganta, o al comienzo de la sección convergente. La colección de partículas finas por las gotas del líquido se lleva a cabo con el impacto por inercia durante el tiempo en que se aceleran las gotas.

Figura 11. Lavador venturi.



Fuente: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

3.2.4.4 Filtros de tela

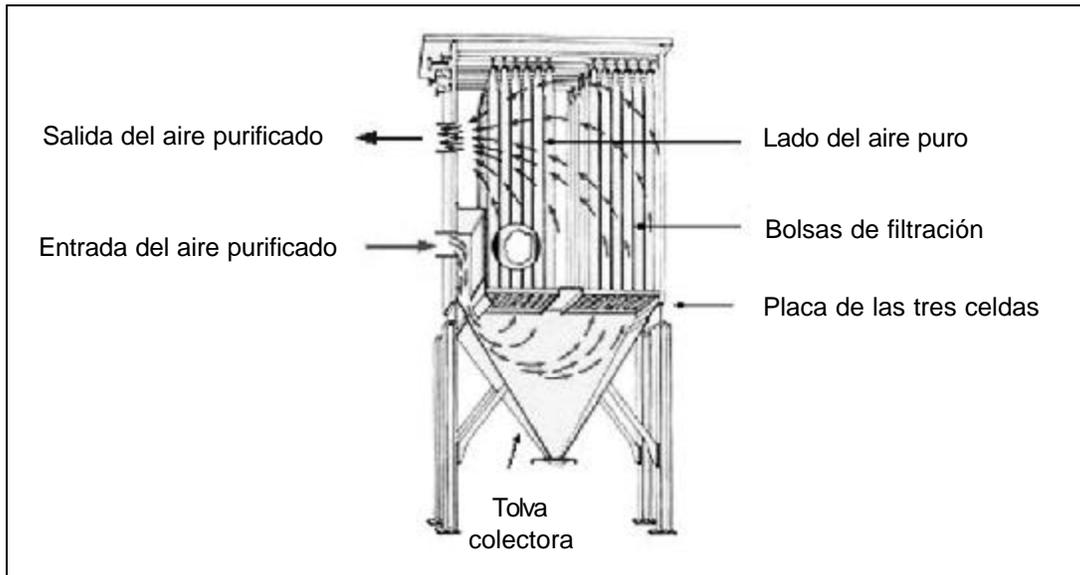
En general, un filtro es cualquier estructura porosa compuesta de material fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que lo arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. El filtro se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas, y se puede disponer en lechos profundos, colchones o telas.

Estos filtros se forman generalmente dentro de tubos cilíndricos y se cuelgan en hileras múltiples para proporcionar grandes áreas superficiales para el paso del gas, (véase figura 12). Tienen eficiencias de 99% o más cuando colectan partículas de 0,5 micras, y pueden remover cantidades considerables de partículas de 0,01 micras.

3.2.4.5 Precipitadores electrostáticos

La colección de partículas y aerosoles mediante la precipitación electrostática se basa en la mutua atracción entre las partículas con una carga eléctrica y un electrodo colector de polaridad opuesta. Para la mayoría de las aplicaciones, la eficiencia colectora oscila entre 80% y 99%.

Figura 12. Cámara de filtros.



Fuente: CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

En resumen, se puede decir que:

Los ciclones se usan por lo general cuando:

- El polvo sea grueso.
- Las concentraciones sean bastante altas. ($> 1 \text{ g/pe}^3$).
- Se desea la clasificación de las partículas.
- No requiere una eficiencia muy alta.

Los lavadores húmedos se usan por lo general cuando:

- Sea necesario eliminar partículas finas con una eficiencia relativamente alta.
- Sea deseable el enfriamiento y no sea indeseable la humedad.
- Los gases sean combustibles.
- Sea necesario eliminar los contaminantes tanto gaseosos como partículas.

Los filtros de tela se utilizan por lo general cuando:

- Se requieren eficiencias muy altas.
- Los volúmenes sean razonablemente bajos.
- Las temperaturas sean relativamente bajas.

Los precipitadores electrostáticos se usan por lo general cuando:

- Se requieren eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos.
- Se deban manejar volúmenes considerables de gas.
- Sea necesario recuperar materiales valiosos sin modificaciones físicas.

3.3. RECOMENDACIONES GENERALES EN EL MANEJO DE ENERGÍA TÉRMICA

Existen diferentes estrategias para reducir el monto de la factura de combustible e incrementar el margen de ganancias de una industria, las cuales se pueden agrupar como sigue:

1. Incrementando la eficiencia de la conversión de energía: significa aumentar la eficiencia térmica de la combustión, aprovechando al máximo las propiedades intrínsecas del combustible y operativas del proceso, tales como: temperatura, velocidad de flujo y concentración del oxígeno y combustible. También implica la selección de los equipos más eficientes para el aprovechamiento de la energía total del combustible, mejorando la mezcla aire-combustible y aprovechando el tiro propio de la combustión.
2. Disminuyendo pérdidas en el uso de la energía: esto se logra incrementando el aislamiento de reactores, ductos, hogares, etcétera, aumentando la transferencia de calor precalentado, los insumos y enfriando los efluentes. Utilizando materia prima "seca" para reducir el uso de calor para evaporación del agua. Utilización del calor excedente de un proceso en otro proceso.
3. Mejorando el promedio de consumo productivo de energía: considerando la disponibilidad y costo de los diferentes combustibles frente a otras fuentes de energía pueden cambiarse procesos, eliminando el uso de la fuente de energía más costosa; por ejemplo, bagazo de caña por gas metano.
4. El control de la combustión es fundamental para iniciar un programa de ahorro energético: para esto una de las piezas claves a analizar es el quemador, que al mismo tiempo está ligado a las características del proceso productivo.
5. Para controlar la combustión primero se debe estar seguro de utilizar el quemador que mejor se ajusta a las necesidades de uso del calor, las exigencias del mercado del producto y el costo del combustible: después de seleccionar el quemador que armoniza con estas variables, se debe instalar los accesorios que permitan el ajuste de la mezcla, es decir, manómetros, válvulas de globo, reguladores, sistemas de levas, controladores electrónicos, etcétera.
6. Para obtener el mejor desempeño de los equipos de combustión, aprovechando al máximo la energía disponible, se debe ajustar los parámetros de control de aire-combustible: para esto, dependiendo del proceso, se requerirá la calibración de los equipos por personal especializado.
7. Posteriormente se debe medir continuamente el consumo de combustible para alertar sobre cualquier desvío que pueda presentarse por desajuste de la calibración.
8. Cada proceso que necesite calor requerirá un rendimiento de la combustión particular, y para obtener el máximo beneficio de energía del combustible, se debe controlar la mezcla de éste con el aire: sólo así se puede saber si el combustible se está utilizando eficientemente y continuar con otras mejoras que reduzcan aún más el gasto.



La enumeración de posibilidades de mejoras para el ahorro de energía son muchas y obviamente depende de la variedad de productos energéticos disponibles: tecnología, capacitación, incentivos económicos, regulaciones ambientales, etcétera. No obstante, antes de evaluar la inversión en una mejora de ahorro energético se debe estar seguro de haber llegado al máximo en la utilización del combustible, porque se conoce y controlan todos los elementos que intervienen en la combustión.

3.4. BUENAS PRÁCTICAS DE SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Entre las principales buenas prácticas de salud ocupacional y seguridad industrial se cuentan las siguientes:

- Anclar los equipos de combustión, lo cual permite eliminar los riesgos por vibración y minimizar el ruido generado por estos equipos.
- Destinar dentro de la fábrica un área para el equipo de combustión (caldera), la cual debe estar separada de las demás áreas o zonas de la empresa, de fácil acceso y con ventilación adecuada.
- Los operarios de los equipos de combustión y los combustibles deben contar con la indumentaria adecuada: overol, casco o gorro, tapabocas y/o máscaras con filtro, guantes, entre otros.
- El combustible debe contar con una zona específica para su almacenamiento, la cual debe estar dotada con elementos de seguridad según la peligrosidad del mismo.
- Contar con un sistema de alimentación de combustible adecuado, lo cual contribuye no sólo a la minimización de impactos sobre la salud del trabajador sino a la optimización del consumo de combustible.



4. CASO EXITOSO

SECTOR INDUSTRIAL: MADERA Y MUEBLES

47

ACTIVIDADES: Secado industrial de madera

EMPRESA

Empresa con amplia trayectoria y reconocimiento en el servicio de corte y secado de madera, el cual se encuentra sustentado en la calidad de los procesos desarrollados y su cumplimiento. Sus clientes directos son reconocidas empresas del renglón maderero del país.

PROBLEMÁTICA

Los altos requerimientos de energía térmica en la empresa, la utilización de carbón mineral como combustible, la inexistencia de aislamiento térmico tanto de la caldera, como de la red de distribución de vapor, y la utilización de tecnología obsoleta (con eficiencias energéticas de apenas el 50%), daban lugar a alto impacto ambiental por la emisión de cantidades apreciables de material particulado a la atmósfera, pérdidas de energía en más del 20% y por tanto consumo de combustible superior al necesario. Estos factores tenían incidencia negativa en la estructura de costos de la empresa y generaba inconvenientes con la comunidad vecina.

PLAN DE ACCIÓN

El interés de la empresa se enfocó hacia la optimización de su sistema de combustión y la minimización de pérdidas energéticas en las cabinas de secado, caldera y sistema de distribución de vapor, a través de estrategias de producción más limpia tendientes a un aprovechamiento adecuado del combustible y la mitigación de impactos ambientales asociados al proceso de combustión.

Actividades realizadas

1. Evaluación de las características fisicoquímicas del combustible utilizado.
2. Balances de materia y energía.
3. Cálculo de pérdidas de calor.
4. Determinación de la eficiencia del sistema de combustión.
5. Estudio de emisiones
6. Ajustes al sistema de combustión y determinación de buenas prácticas de operación.
7. Determinación de sistemas de control para emisiones.



Acción implementada	Tema	Resultado buscado
Determinación del tamaño de partícula de carbón óptimo para alimentar al sistema de combustión.	Producción más limpia	Optimización en el consumo de combustible. Minimización de la carga contaminante emitida a la atmósfera.
Ajustes al sistema de dosificación y alimentación de combustible.	Producción más limpia	Optimización en el consumo de combustible. Minimización de la carga contaminante emitida a la atmósfera.
Determinación e implementación del sistema de aislamiento de la caldera y sistema de distribución de vapor.	Producción más limpia	Optimización del consumo de combustible. Minimización de la carga contaminante emitida a la atmósfera. Reducción de las pérdidas de calor.
Ajustes al sistema de control de emisiones atmosféricas. Altura de la chimenea.	Control de contaminación	Minimización de la carga contaminante emitida a la atmósfera.

RESULTADOS OBTENIDOS

- Reducción en el consumo de combustible en un 10%.
- Reducción de dos días en el tiempo de proceso de secado de madera.
- Reducción en el costo del proceso de combustión, asociado a la reducción en el consumo de combustible. Aproximadamente 2'500.000 al año.
- Reducción de las pérdidas de calor.
- Mejora en las condiciones ocupacionales en las áreas de trabajo. Reducción de calor.
- Minimización de la carga contaminante emitida a la atmósfera.
- Mejora en la relación con la comunidad vecina.
- Mejora en la relación con la autoridad ambiental distrital.
- Aumento en la productividad y competitividad de la empresa.



ANEXOS

1. COMBUSTIÓN

El proceso de combustión es uno de los procesos unitarios más estudiados, el cual se define como la reacción química en fase gaseosa que sucede entre un combustible y un comburente, generalmente oxígeno, con el fin de obtener energía calórica. Es un proceso de combinación entre las partículas de hidrógeno y carbono contenidas en los combustibles y el oxígeno contenido en el aire. Mediante este proceso las industrias generan el vapor y la energía necesarios para la obtención de sus productos. Equipos como calderas suministran el calor necesario para secado, cocción, evaporación y reacciones químicas endotérmicas, las cuales requieren energía térmica para su desarrollo.

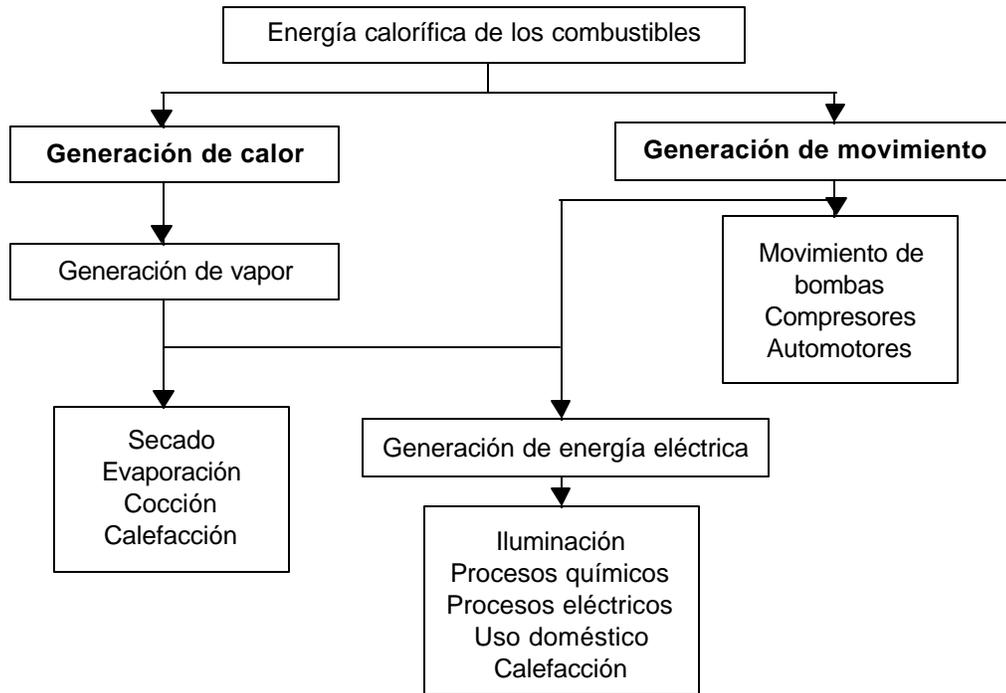
Las aplicaciones de mayor relevancia del proceso de combustión son la generación de calor y la ejecución de movimiento, las cuales se presentan en la figura 13.

Los principales efluentes del proceso son gases como dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) para el caso de combustión completa, y monóxido de carbono (CO), cuando se tiene un proceso de combustión incompleta. También se tienen agentes contaminantes como óxidos de azufre y de nitrógeno (SO_x y NO_x), hidrocarburos no quemados y sólidos representados por las cenizas y la contaminación térmica de las aguas y efluentes gaseosos.

Los combustibles utilizados pueden ser de tipo **sólido, líquido o gaseoso**. La mezcla aire-combustible sigue una relación predeterminada que va en función de la composición química de este último y define la potencia del sistema de combustión.



Figura 13. Principales aplicaciones del proceso de combustión

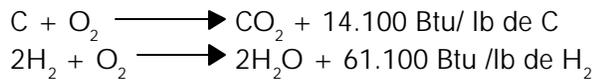


50

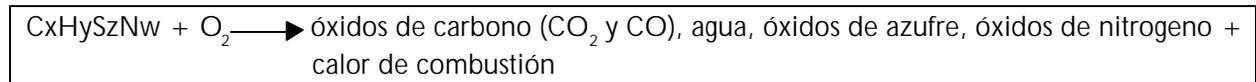
Fuente: Acercar. CCB.

1.1 PRINCIPIOS DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

La cantidad justa de oxígeno que se necesita para quemar un combustible se denomina oxígeno teórico, cuya expresión se presenta a continuación:



Y para un combustible en general se tiene:



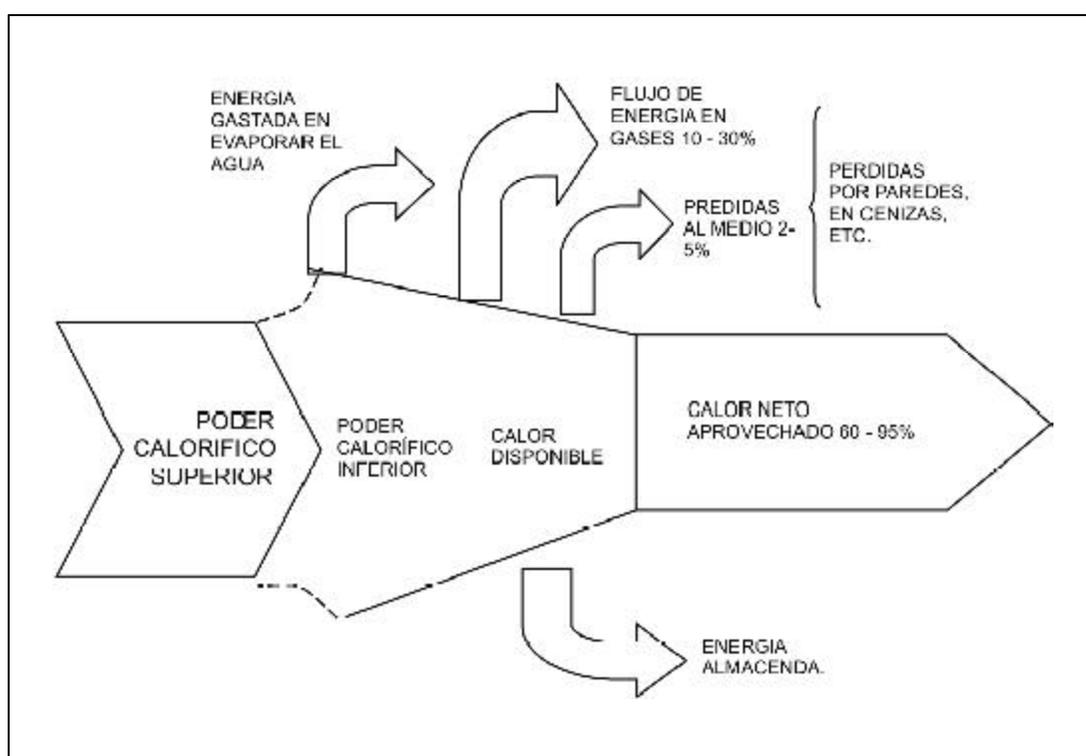
Donde C, H, S y N representan los átomos de carbono hidrógeno, azufre y nitrógeno contenidos en el combustible, mientras que O₂ representa el oxígeno necesario para llevar a cabo el proceso de combustión, el cual es generalmente aportado por el aire, que para fines prácticos se supone compuesto de 20,9 moles de oxígeno y 79,1 moles de nitrógeno por cada 100 moles de aire.



Para que la combustión sea completa, en la práctica se requiere una cantidad mayor que la teórica del aire, la cual se expresa como porcentaje del aire teórico y se denomina aire en exceso, que se calcula teniendo en cuenta el sistema de combustión y el tipo de combustible a utilizar.

La distribución de energía aprovechada en el proceso de combustión se presenta en la figura 14.

Figura 14. Distribución de energía aprovechada en el proceso de combustión.



Fuente: Acercar. CCB. Jornada tecnológica Ahorro y uso racional de la energía en la industria.

1.2 Elementos necesarios para el proceso de combustión

Para que el proceso de combustión se lleve a cabo y sea posible el aprovechamiento del calor generado, se requieren como mínimo los siguiente equipos:

Horno: espacio cerrado donde se produce calor mediante la oxidación química de un combustible.

Quemador: dispositivo que produce llama y cuya función es mezclar el combustible y el comburente (aire) en proporciones tales que se encuentren dentro de los límites de flamabilidad para lograr el encendido y una combustión completa y constante.

En general, la combinación de un horno y un quemador debe proporcionar los cuatro elementos básicos de la combustión:

52

- Mezcla de combustible y comburente.
- Admisión de cantidades suficientes de comburente para quemar por completo el combustible.
- Temperatura suficiente para encender la mezcla de combustible y aire y complementar su combustión.
- Tiempo necesario de residencia para que la combustión sea completa.

De las necesidades propias de cada industria, el proceso desarrollado y el tipo de combustible dependerá la complejidad del sistema de combustión utilizado.



2. COMBUSTIBLES

En general, un combustible puede definirse como una sustancia rica en carbono e hidrógeno capaz de reaccionar liberando energía térmica cuando es quemado en presencia de aire. La clasificación general de los combustibles tiene en cuenta su estado, ya sea *líquido, sólido o gaseoso*, sin embargo es de mencionar que para el aprovechamiento de su poder calorífico éstos deben estar en fase gaseosa en mezcla con el oxígeno.

53

La principal característica de los combustibles es su poder calorífico, el cual define la cantidad de energía aprovechable por unidad de volumen o masa, en determinadas condiciones. Los principales combustibles son los de tipo fósil; éstos son petróleo y sus derivados, carbón mineral y gas natural, los cuales se encuentran formados por átomos de hidrógeno y carbono, que se combinan en moléculas llamadas hidrocarburos, formados a partir de la materia orgánica de seres vivos extintos, acumulada en medios ausentes de oxígeno, los cuales al ser extraídos para la generación de energía producen dióxido de carbono y agua y continúan el ciclo del carbono. Es de resaltar que la provisión de recursos de combustibles fósiles es limitada y es de tipo no renovable.

2.1 Propiedades de los combustibles

Las principales características que permiten identificar un combustible y establecer su aplicabilidad y el sistema de combustión son las siguientes:

2.1.1 Calor de combustión

Cantidad de calor que se desprende cuando un mol de un combustible se quema a temperatura y presión constante.

2.1.2 Potencia calorífica

Numéricamente igual al calor de combustión pero de signo contrario. Se expresa de acuerdo con el estado del agua después del proceso de combustión:

- **Poder calorífico superior (HHV).** Es el calor desprendido en la combustión completa, a presión constante y temperatura de 25 °C. El agua se encuentra en estado líquido.



- **Poder calorífico Inferior (IHV)**. Es el calor desprendido en la combustión completa, a presión constante y temperatura de 25 °C. El agua se encuentra en forma de vapor después de la combustión.

2.1.3 Punto de inflamabilidad

Mínima temperatura a la cual los vapores de un líquido inflamable forman una mezcla explosiva con el aire.

54

2.1.4 Viscosidad

Propiedad de los fluidos debida al frotamiento de sus moléculas. Resistencia que experimentan al movimiento.

2.2 Clasificación de combustibles

2.2.1 Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos son generalmente derivados del petróleo obtenidos mediante destilación fraccionada (de acuerdo con la temperatura de evaporación de los productos deseados). Cada uno de estos combustibles se constituye en una mezcla compleja de hidrocarburos, las cuales difieren en su contenido de hidrógeno y azufre. El petróleo provee el 38% de la energía mundial total; tiene más energía por gramo que ningún otro combustible fósil, es también una fuente importante de sustancias químicas para la industria de los plásticos.

El petróleo se extrae de pozos perforados a grandes profundidades, en los estratos rocosos de la corteza terrestre y es el resultado de procesos geológicos sobre la materia orgánica en descomposición. Debido a que el enorme mercado del petróleo reside en la gran demanda de gases ligeros, gasolina, aceites combustibles, disolventes, aceites para motores, grasas, parafinas y asfalto, el aceite crudo se destila fraccionadamente para dar productos que tienen amplios márgenes de ebullición. A pesar de que dichos productos son aún bastante impuros, tienen suficiente mercado y uso. Para aplicaciones especiales necesitarán refinaciones posteriores con el consecuente aumento del costo. Se obtienen muchos compuestos puros del petróleo. La siguiente tabla presenta las diferentes fracciones que pueden obtenerse por la refinación del petróleo.



Tabla 11. Fracciones del petróleo.

Fracción	No. Aproximado De átomos de C	Intervalo de ebullición (° C)	Usos
Gas ligero	C ₁ -C ₅	a - 20	Combustible
A. Metano y etano	C ₁ - C ₂	Gas	Combustible
B. Olefinas	C ₂ - C ₄		Alcohol, hule, plásticos
C. Propano y butano	C ₃ - C ₄	Gas	Combustible
Gasolina	C ₅ - C ₁₀	20 - 200	Combustible para autos, etcétera.
A. Éter de petróleo	C ₅ - C ₆	30 - 60	Disolvente
B. Lignina	C ₆ - C ₈	60 - 100	Disolvente
C. Naftas	C ₈ - C ₁₁	100 - 200	Disolventes
Queroseno	C ₁₂ - C ₁₆	200 - 300	Combustible, disolvente
Aceite combustible	C ₁₅ - C ₁₈	280 - 380	Diesel, combustibles para calderas
Aceites lubricantes	C ₁₆ - C ₂₀		Lubricante
Petrolato o vaselina	C ₁₈ - C ₂₂		Lubricante medicamentos
Parafina sólida	C ₂₀ - C ₃₀	p.f. 50 - 60	Velas, lacres, impermeabilizante
Cera microcristalina	C ₃₀ - C ₅₀	p.f. 50 - 60	Plásticos etcétera.
Asfalto	Muchos		Pinturas pavimentos, etcétera.
Carbón de petróleo	Muchos		Metalurgia, electrodos de carbono, etcétera.

Fuente: Ecopetrol.

2.2.1.1. Aceite combustible para motores, ACPM

Se obtiene como destilado del fraccionamiento del petróleo, constituyéndose en una mezcla de hidrocarburos líquidos y aditivos, de apariencia color claro a ámbar.

Las propiedades fisicoquímicas del ACPM son las presentadas en la tabla 12.

Tabla 12. Propiedades del ACPM.

Poder calorífico	Superior a 10.500 Cal
Punto de ebullición	177-372°C
Inflamabilidad	Mayor a 60°C
Presión de vapor	0,5 mmHg
Contenido de azufre	0,4 % en masa
Viscosidad	4,78 mm ² /s a 37,8 °C
Cenizas	0,0% en masa

Fuente: Acercar. CCB.



Este combustible es adecuado para el empleo en motores de combustión interna y a chorro, así como para su aplicación directa en pequeños hornos domésticos e industriales, al igual que en **calderas industriales**.

Como emisiones características de la combustión del ACPM se tienen monóxido y dióxido de carbono, al igual que agua.

2.2.2 Crudo de castilla - fuel oil

Este tipo de combustibles se constituyen en mezclas de hidrocarburos pesados, utilizados principalmente como combustibles industriales. Es un combustible de buenas propiedades aditivas y lubricantes, haciéndolo capaz de reemplazar el aceite en muchas de sus aplicaciones. Sus principales propiedades fisicoquímicas se muestran en la tabla 13:

Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas del fuel oil.

Poder calorífico	Superior a 10.500 Cal
Punto de ebullición	Superior a 180° C
Inflamabilidad	Superior a 97° C
Contenido de azufre	2,2% en masa
Densidad	0,890 – 0,960°
Cenizas	0,8% masa

Fuente: Acercar. CCB.

El crudo es estable en condiciones normales, sin embargo por calentamiento puede generar vapores tóxicos inflamables. Las principales emisiones generadas en su proceso de combustión son monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y óxidos de azufre; estos últimos son altamente nocivos para la atmósfera, razón por la cual y teniendo en cuenta el alto porcentaje de azufre presente en el crudo de castilla, su uso en calderas de establecimientos industriales, comerciales y de servicios en Bogotá fue restringido a partir del 2001.

2.2.3 Combustóleo

Este combustible se elabora con los productos residuales obtenidos de los procesos de refinación del petróleo crudo. Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación; se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio.

El combustóleo puede resultar adecuado para su utilización industrial únicamente si se trabaja 24 horas o si la capacidad de la caldera está al 100% de carga y a una capacidad de 150 HP o mayor. Debido a la pobre combustión del combustóleo, los equipos que lo utilizan operan con un gasto de mantenimiento alto, una productividad baja o producen elementos de calidad baja. En general, el combustóleo resulta económico, altamente contaminante, sucio, de manejo problemático y mucho mantenimiento, con alto



contenido de azufre, ceniza, asfalto y lodos. Requiere mantenimiento, vigilancia y limpieza de filtros y boquillas continuamente.

Las principales propiedades fisicoquímicas del combustóleo aparecen en la tabla 14:

Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas del combustóleo.

Poder calorífico	42.270 kJ/kg
Inflamabilidad	Superior a 76° C
Contenido de azufre	1,96% en masa
Viscosidad	311 SSF
Cenizas	0,8% masa

Fuente: Acercar. CCB.

De su combustión se obtienen como principales emisiones dióxido y monóxido de carbono, agua y óxidos de azufre.

2.2.4 Combustibles gaseosos

Debido a su existencia como sustancia en estado gaseoso y su afinidad con el aire, ofrecen excelentes condiciones para el proceso de combustión. Los principales combustibles gaseosos se enlistan a continuación.

2.2.4.1 Gas natural

Es un gas combustible que se obtiene de rocas porosas del interior de la corteza terrestre y se encuentra mezclado con el petróleo crudo cerca de sus yacimientos; sin embargo, existen lugares donde sólo se encuentra gas natural.

Químicamente el gas natural se compone de hidrocarburos de bajo peso molecular y por ende bajo punto de ebullición, además de otros constituyentes no combustibles como dióxido de carbono, nitrógeno y helio.

Las tres ventajas principales del gas natural sobre los demás combustibles son **combustión limpia** debido a que su composición no involucra compuestos constituidos por azufre y nitrógeno, que se encuentra en fase gaseosa, posee un alto poder calorífico y facilidad y seguridad para su transporte y distribución.

Otras ventajas importantes que pueden tenerse con la combustión del gas natural, y que redundan en **beneficios de tipo económico** para la empresa son las siguientes:

- El gas natural está disponible en forma continua, no requiere tanques de almacenamiento disminuyendo los riesgos que ello implica y también los costos financieros.



- No requiere preparación previa a su utilización, como calentarlo, pulverizarlo o bombearlo como ocurre con el petróleo o el carbón.
- Los equipos y quemadores de gas natural son fáciles de limpiar y conservar.
- La combustión del gas natural puede finalizar instantáneamente tan pronto como cese la demanda de calor de los aparatos que lo utilizan, lo cual es muy adecuado para cargas variables e intermitentes.
- La regulación automática es sencilla y de gran precisión, manteniendo constante la temperatura o la presión al variar la carga.
- El rendimiento del gas natural en la combustión es superior al de otros combustibles.

El gas de los diferentes campos de producción en Colombia se distribuye de la siguiente forma²:

Costa Atlántica	Gas de La Guajira y Guepajé.
Santander	Gas de Payoa, Provincia y de El Centro.
Huila	Gas de Huila.
Bogotá, Antioquia y Valle	Mezcla de gases de varias procedencias debido a la conexión existente.

2.2.4.2 Gas natural licuado

De características y origen igual que el gas natural, difiere únicamente en la forma de almacenamiento y transporte, ya que la licuefacción del gas minimiza el espacio de ocupación; así, por ejemplo, 1 pie³ de metano líquido licuado (a -127 °C y 1 atm) es igual a 630 pie³ de metano gaseoso.

2.2.4.3 Gas licuado de petróleo

Denominación aplicada a ciertos hidrocarburos específicos que pueden transformarse en líquidos a presiones moderadas y temperaturas normales. Estos gases durante su combustión liberan monóxido de carbono, sin embargo son combustibles limpios, apropiados para casi todos los servicios; siendo su uso principal el doméstico para el cual se suministran en tanques o mediante líneas de tuberías.

Las propiedades más relevantes son las siguientes:

Gravedad específica	0,554
Punto de inflamación	148 ° C
Temperatura de autoignición	482-537 ° C

2.2.5 Combustibles sólidos

Los combustibles sólidos pueden ser naturales o artificiales (derivados de los naturales). Entre los combustibles sólidos naturales se encuentran: el carbón y la madera, mientras que los artificiales más comunes son: el carbón de madera y coque.

² UPME (1999). La cadena del gas natural en Colombia.



2.2.5.1 Carbón

El carbón es un combustible sólido de origen mineral.

Las diferentes clasificaciones para el carbón se basan en su contenido de carbono fijo, es decir su proporción combustible. Los diferentes tipos de carbón se clasifican según su contenido de carbono fijo y materia volátil, es decir por su proporción combustible. La tabla 15 presenta la clasificación general de carbones.

59

Tabla 15. Clasificación general de los carbones.

Tipo de carbón	Proporción combustible
Antracitas	10 – 60
Semiantracitas	6 – 10
Semibituminosos	3 – 7
Bituminosos	0,5 – 3
Lignitos	< 0,5

Fuente: HOUGEN, WATSON, RUGATZ. Principios de los procesos químicos.

Teniendo en cuenta la normatividad en materia ambiental aplicable al Distrito Capital y el impacto ambiental causado por la combustión del carbón, las empresas deben garantizar la utilización de un carbón de adecuadas propiedades fisicoquímicas, para lo cual debe solicitar al proveedor un muestreo compuesto del carbón, identificar la procedencia geográfica y una caracterización del mismo, en la cual se incluyan el contenido de azufre, el poder calorífico y el porcentaje de cenizas, parámetros que se constituyen en los principales aspectos para tener en cuenta desde el punto de vista ambiental. La tabla 16 presenta las características de los carbones de las diferentes regiones de Colombia.

Tabla 16. Características de los carbones en Colombia.

Características de carbones Colombianos (ECOCARBÓN)

Zona o área	Azufre (%)	PC (BTU/Lb)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Material Volátil (%)
Antioquia	0.6	10910	10.1	9.1	38
Boyaca	1.4	12401	5.2	11.6	35.4
Cesar					
El descanso	0.57	10370	13.6	10.6	32.3
La Jagua	0.62	12570	7.3	5.3	35.6
La loma	0.59	11620	10.3	5.6	36.8
Cordoba	1.5	8180	17	17	37
Cundinamarca	0.84	13194	3.9	10.2	28.4
Guajira					
Cerrejón Norte	0.7	11770	11.9	7	33.4
Cerrejón central	0.66	12220	8.2	8.3	34
N. Santander	0.85	13925	2.6	7.7	33.7
Valle del Cauca	2.7	9663	2.1	30.5	27.3

Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Curso Control de la Contaminación Atmosférica. 2002.

El carbón es un combustible flexible. Se puede quemar, pirolizar, usar como materia prima de productos químicos, licuar o gasificar. Los costos del carbón son bajos y estables, mientras que los costos de otros combustibles presentan grandes fluctuaciones.

Entre las principales desventajas de la utilización del carbón se encuentran la dificultad de almacenamiento y manipulación, comparado con los combustibles derivados del petróleo y el gas natural, la generación de residuos sólidos posterior al proceso de combustión, emisión a la atmósfera de compuestos químicos como óxidos de azufre y de nitrógeno. El recurso fósil con mayor cantidad de materia mineral es el carbón y por tanto produce mayor cantidad de cenizas; entre los elementos traza presentes en el carbón están el berilio, mercurio, plomo, arsénico, antimonio y selenio, los cuales presentan toxicidad y volatilidad reconocida.

A pesar de estas desventajas, el carbón seguirá utilizándose en el futuro porque es relativamente barato y de amplia disponibilidad. Las reservas mundiales de carbón registradas en la actualidad pueden superar las 12 billones de toneladas, sin embargo si se consideran los recursos conocidos que puedan explotarse en el futuro la estimación asciende a los 50 billones, es decir, el quintuple de las reservas registradas actualmente, en términos de contenido de energía. El nivel de reservas comprobado garantiza el nivel de consumo actual durante más de dos siglos. Las reservas probadas de carbón durarán cerca de 300 años, las estimadas para 1500 años.

2.2.5.2 Biomasa

La biomasa constituye la forma energética renovable más importante y de mayor potencial después de la energía solar, consumiéndose en forma directa a través de la combustión o indirectamente a través de los combustibles fósiles y de diferentes técnicas termoquímicas y bioquímicas de conversión y aprovechamiento. La biomasa es todo material de origen biológico producido por los vegetales a través de la captación de la energía solar y asimilación del CO_2 atmosférico y agua mediante el proceso de fotosíntesis. Hay dos formas de biomasa: la biomasa primaria (los árboles, algas y cultivos) y la biomasa residual (restos de la cosecha, desechos orgánicos, basuras, vertimientos y residuos agropecuarios).

Desde el punto de vista ambiental y sanitario, el balance de utilización de residuos orgánicos como energía es muy bajo, debido al desconocimiento de sus potencialidades.

2.2.5.3 Madera

Químicamente la madera consiste en aproximadamente 70% de celulosa, 25% de lignina y cerca de 5% de extractos (aceites y ceras). Entra en ignición fácilmente y arde de manera constante cuando es cortada en trozos de forma tal que se evite la formación de capas de cenizas semifundidas en la superficie; puede quemarse directamente como combustible o convertirse primero en carbón de madera o en gas de gasógeno.

Las principales ventajas en la utilización de la madera como combustible industrial se encuentran en la economía de costos, con márgenes adecuados de eficiencia técnica, la generación de empleos y la utilización de un combustible de tipo renovable.



Entre las desventajas se cuentan las de manipulación (combustible sólido y voluminoso), la heterogeneidad del material en contenido de humedad y tamaño, la necesidad de acondicionamiento (secado), necesidades de espacio requerido para la formación de *stocks*, y los costos financieros derivados del almacenamiento.

2.2.5.4 Carbón vegetal y turba

El carbón vegetal se produce en su mayor parte de la leña y de los residuos de madera. El carbón vegetal representa una parte muy pequeña del total de la biomasa usada como fuente de energía.

61

A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de este tipo de combustible:

Ventajas:

- Puede ser adquirido en las cantidades deseadas.
- Se quema sin humo o llamas peligrosas que rodeen los recipientes de cocción.
- Se almacena bien sin descomponerse.
- Es usado en estufas sencillas y más económicas.
- Es menos caro que los combustibles fósiles y la electricidad.

Desventajas:

- Los hornos pobremente diseñados tienen bajas eficiencias
- Produce altas emisiones de dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano.
- Aun cuando las estufas de carbón vegetal son más eficientes que las estufas de leña, son menos eficaces que las estufas de combustibles modernos (queroseno, GLP y eléctricas).
- En países como Colombia ha sido difícil la regulación en la producción del carbón vegetal.

2.2.5.5 Coque

Combustible obtenido a partir del carbón mineral por medio de carbonización o destilación destructiva, el cual se utiliza además en diversas aplicaciones industriales. Dependiendo de la forma en que se lleva a cabo el proceso de producción de coque, éste se clasifica en coque de baja y media temperatura, y coque de alta temperatura, el cual es ampliamente utilizado en el proceso metalúrgico.

2.3 Transporte y quema de combustibles

2.3.1 Combustibles sólidos

2.3.1.1 Lecho de combustible

El sistema se alimenta por medios mecánicos continuos o intermitentes y requiere un suministro adecuado de aire tanto para la combustión como para la liberación de productos.



Los tipos convencionales de alimentadores de lecho de combustible se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Alimentadores de lecho de combustible

Tipo de alimentador	Descripción
Alimentador de carga inferior	El sistema de transporte consiste en un tornillo sinfín; el combustible y el aire tienen la misma dirección. El sistema de combustión del lecho puede optimizarse mediante precalentamiento de la carga por recirculación de parte de los gases de combustión.
Alimentador de carga superior	El sistema consiste en parrillas oscilantes o deslizantes; el aire y el combustible fluyen en direcciones opuestas, requiriéndose bajas cantidades de aire en exceso para cualquier tipo de combustible sólido.
Alimentador de carga transversal	El lecho con una profundidad que varía entre 4" y 8" es atravesado por aire de manera transversal. El combustible se alimenta mediante una parrilla deslizante de barra o cadena; mientras el aire se suministra a medida que el combustible se desplaza hacia la parte central del horno.

Fuente: Acercar.

2.3.1.2. Lecho en suspensión

Este sistema de encendido utiliza combustible pulverizado. De esta manera se obtiene una mayor capacidad de generación de vapor en las calderas, respondiendo con rapidez a las variaciones de carga, cuando se demandan cantidades superiores a 100.000 lb / h de capacidad de vapor.

Las configuraciones existentes se describen brevemente en la tabla 18.

Tabla 18. Quemadores y hornos de encendido para lecho en suspensión.

Tipo de encendido	Descripción
Encendido vertical de abanico	Recomendado para combustibles sólidos cuya ignición es difícil (contenido de materia volátil inferior al 15%). El aire necesario para la combustión se suministra como aire primario (entre el 10 y 20% del total) cuya función es transportar el combustible pulverizado al quemador; y aire secundario (cantidad restante), el cual se combina con el aire primario y el combustible para fomentar una mezcla rápida.
Encendido tangencial	Los quemadores consistentes en un conjunto de ranuras unas sobre otras, están dispuestos en cada esquina de un horno cuadrado, donde admiten de manera alterna mezclas de aire primario y combustible y aire secundario, generando así un vórtice en el centro del horno.
Encendido ciclónico o centrifugo	Emplea combustible triturado hasta un tamaño de malla 4, el cual se admite con el aire primario en una cámara cilíndrica denominada horno ciclónico. Las partículas más finas arden en suspensión, mientras las más gruesas son arrojadas por la fuerza centrífuga hacia las paredes del horno donde el aire secundario completa su combustión.

Fuente: Acercar.

3.3.2 Combustibles líquidos

Los combustibles líquidos se vaporizan o atomizan en el aire de combustión. El tiempo, la temperatura y la turbulencia son los criterios para tener en cuenta al lograr una buena combustión.

Los tipos de quemadores utilizados para combustibles líquidos se describen en la tabla 9:

Tabla 19. Quemadores utilizados según tipo de combustible.

63

Tipo de encendido	Descripción
Quemadores de vaporización	El calor de la flama convierte continuamente el combustible líquido en vapor en el aire de combustión, de modo que la flama se sostiene. Este principio se utiliza en los sopletes, en hornos domésticos de calefacción, estufas de queroseno y encendedores de cigarrillos.
Quemadores atomizadores de aceite	Se rocía combustible desde una tobera con presiones de 100 a 300 psi, o lo atomizan en aire o vapor a presiones de 0,5 a 200 psi. Los índices de liberación de calor dependen de las propiedades del combustible, la concentración de aire en exceso, la mezcla de aire y combustible y los niveles tolerables de humo.

Fuente: Acercar.

3.3.3 Combustibles gaseosos

Gracias a la alta movilidad de sus moléculas, los combustibles gaseosos se dispersan con facilidad en el aire, lo que permite tiempos breves de combustión en condiciones apropiadas de turbulencia.

Dependiendo del momento en que se mezclan el gas y el aire, varía el proceso de combustión:

- Mezcla antes de la ignición. La combustión se realiza mediante hidroxilación (conversión de hidrocarburos a alcoholes).
- Mezcla a la temperatura de ignición. Los hidrocarburos se descomponen en carbono e hidrógeno, los cuales se mezclan con suficiente oxígeno producen CO_2 y H_2O .

Existen dos modelos básicos de quemadores para combustibles gaseosos:

- **Quemadores de premezcla.** Arden mediante hidroxilación y se utilizan tanto para aplicaciones de tiro natural como forzado.
- **Quemadores de mezcla en tobera.** Mezclan aire y gas en el quemador.

3. LEGISLACIÓN AMBIENTAL RELACIONADA CON EL PROCESO DE COMBUSTIÓN

MARCO NACIONAL

Ley 9 de 24 de enero de 1979

Por la cual se dictan medidas sanitarias. Dentro del título I de la ley se establecen los parámetros generales de protección al medio ambiente, en temas como residuos líquidos, residuos sólidos, disposición de excretas, emisiones atmosféricas y áreas de captación; y en el título III se presentan los parámetros generales en materia de salud ocupacional.

Ley 99 de 22 de diciembre de 1993, del Congreso de la República

Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1753 de 3 de agosto de 1994, del Ministerio del Medio Ambiente

Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

El decreto define una licencia ambiental como la autorización que otorga la autoridad competente para la ejecución de un proyecto o actividad que puede afectar los recursos naturales y/o el medio ambiente. Así mismo, define tres tipos de licencia: ordinaria, que especifica los requisitos que debe cumplir el beneficiario pero no otorga permiso sobre el uso de los recursos; única que incluye permisos sobre los recursos y, global dirigida a la explotación de campos petroleros y de gas.

Las licencias pueden ser otorgadas por el Ministerio del Medio Ambiente, las CAR, las entidades delegatarias de las CAR y las autoridades municipales, previa elaboración del estudio de impacto ambiental.

Decreto 2150 del 5 de diciembre de 1995, de la Presidencia de la República

Por el cual se suprimen y reforman regulaciones, procedimientos o trámites innecesarios, existentes en la Administración pública.

El artículo 132 del decreto establece que las licencias ambientales deben llevar implícitos todos los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental, necesarios para la construcción, desarrollo y operación de la obra, industria o actividad; de igual forma, instituye que el tiempo del permiso será igual a la vigencia de la licencia ambiental.

Resolución 655 de 21 de junio de 1996, del Ministerio de Medio Ambiente

Por la cual se establecen los requisitos y condiciones para la solicitud y obtención de la licencia ambiental establecida por el artículo 132 del Decreto-Ley 2150 de 1995. Así mismo, especifica los casos en que se



debe modificar una licencia ambiental, como la falta de especificación del aprovechamiento que se va a dar a los recursos o variación en el uso de estos.

NORMATIVIDAD APLICABLE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

COMPONENTE ATMOSFÉRICO

Aire

65

Decreto 02 de 1982. Por el cual se reglamentan parcialmente el título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas. Se establecen algunas definiciones generales para la evaluación del componente atmosférico, se establecen las normas de calidad del aire y los métodos de medición de los contaminantes. Se define también altura de la descarga y parámetros de emisión relacionados con actividades industriales específicas.

Decreto 948 de 1995. Deroega gran parte de los artículos del Decreto 02 de 1982. Define el marco de las acciones y mecanismos administrativos de las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire.

Resolución 898 de 1995. Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles. En el marco de esta norma se encuentran las propiedades fisicoquímicas que los combustibles deben cumplir, con el fin de garantizar baja afectación al ambiente.

Resolución 1351 de 1995. Se adopta la declaración de informe de emisiones (IE-1). Establece la forma y los requisitos para diligenciar el formulario.

Resolución 1619 de 1995. Por la cual se desarrollan parcialmente los artículos 97 y 98 del Decreto 948 de 1995. Especifica la presentación de la declaración de informe de emisiones para las cementeras, siderúrgicas y termoeléctricas.

Resolución 619 de 1997. Establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. Define aquellas industrias, obras, actividades o servicios que requieren permiso de emisión atmosférica.

Resolución 775 de 2000. Deroega la Resolución 509 del 8 de marzo de 2000 y adopta el sistema de clasificación empresarial por el impacto sobre el componente atmosférico. Define las unidades de contaminación atmosférica (UCA).

Resolución 391 de 2001. Establece normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y el control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, D.C.

Resolución 1208 de 2003. Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire. En la tabla 20 se presentan los límites establecidos para emisión por fuentes fijas en esta resolución.



Tabla 20. Límites de emisión para fuentes fijas. Resolución 1208 de 2003.

Tipos de combustibles		Combustibles sólidos	Combustibles líquidos	Combustibles gaseosos	Incineradores	Hornos crematorios
CONTAMINANTE	AÑO					
Partículas suspendidas (totales mg/Nm ³)	2003	300	300		50	50
	2006	200	200			
	2010	100	100	100		
Dióxido de azufre, mg/Nm ³ SO ₂	2003	600	600		100	100
	2006	500	500			
	2010	400	400	35		
Dióxido de nitrógeno, mg/Nm ³ NO ₂	2003	400	400		350	350
	2006	350	350			
	2010	250	250	350		
Monóxido de carbono, mg/Nm ³ CO	2003	300	200		50	50
	2006	280	190			
	2010	250	170	100		
Ácido fluorhídrico HF mg/Nm ³	2003	8 (b)		2		
	2006	7 (b)				
	2010	5 (b)				
Ácido clorhídrico HCl mg/Nm ³	2003	50 (b)		50		
	2006	40 (b)				
	2010	30 (b)				

Fuente: DAMA

(b): Estos parámetros se analizarán, cuando se utilice para combustión de aceite usado en cualquier proporción de mezcla.

Ruido

Resolución 8321 de 1983. Por la cual se dictan normas sobre protección y conservación de la audición, de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. En las tablas 21 y 22 se presentan los parámetros normativos permisibles en el tema de ruido.

Tabla 21. Niveles de ruido máximos permisibles. Resolución 8321 de 1983

Zonas receptoras	Nivel de presión sonora en dB	
	Período diurno (7:01 a.m. – 9:00 p.m.)	Período Nocturno (9:01 p.m. – 7:00 a.m.)
Zona I. Residencial	65	45
Zona II. Comercial	70	60
Zona III. Industrial	75	75
Zona IV de tranquilidad	45	45

Fuente: DAMA

Tabla 22. Valores límite permisibles para ruido continuo o intermitente en zonas de trabajo.

Máxima duración de la exposición	Nivel de presión sonora diaria (dB)
8 horas	90
7 horas	
6 horas	92
5 horas	
4 horas 30 minutos	
4 horas	95
3 horas 30 minutos	
3 horas	97
2 horas	100
1 hora treinta minutos	102
1 hora	105
30 minutos	110
15 minutos o menos	115

Fuente: DAMA

Resolución 832 de 2000. Se adopta el sistema de clasificación empresarial por el impacto sonoro sobre el componente atmosférico denominado unidades de contaminación por ruido, UCR para la jurisdicción del DAMA.

Resolución 391 de 2001. Establece normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y el control de la contaminación atmosférica en Bogotá, D.C.

Componente hídrico

Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamentan los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos.

Decreto 901 de 1997. Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de éstas.

Resolución 1074 de 1997. Por la cual el DAMA establece estándares ambientales en materia de vertimientos.

Resolución 339 de 1999. Por la cual se implementa las unidades de contaminación hídrica UCH1 y UCH2 para el Distrito Capital.

Resolución 1596 de 2001. Por la cual se modifica la Resolución 1074 de 1997.



Residuos

Residuos sólidos

Decreto 2104 de 1983. Residuos sólidos y normas sanitarias aplicables al almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición sanitaria de los mismos.

68

Decreto 605 de 1996. Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamenta la Ley 142 de 1994 (Régimen de los servicios públicos domiciliarios) en relación con la prestación del servicio público de aseo, su recolección, disposición, transporte y aprovechamiento de residuos sólidos. Prohibiciones, sanciones y procedimientos.

Decreto 357 de 1997. Regula el manejo, transporte y disposición final de los escombros y materiales de construcción.

Resolución 541 de 1994. Ministerio del Medio Ambiente. Reglamentación de material de escombros y transporte de materiales de construcción.

Residuos especiales

Resolución 2309 de 1986. Por la cual se dictan normas para el manejo de residuos especiales. En esta resolución se definen como residuos especiales a los objetos, elementos o sustancias que se abandonan, botan, desechan, descartan o rechazan y que sean patógenos, **tóxicos, combustibles, inflamables**, explosivos, radiactivos o volatilizables y **los empaques y envases que los hayan contenido**, como también los lodos, cenizas y similares.



BIBLIOGRAFÍA

1. ACERCAR. (1999). *Combustión, planes de acción para el mejoramiento ambiental*.
2. DE NEVERS, Noel. (1997). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. Ed. Mc Graw Hill.
3. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, FACULTAD DE INGENIERÍA. (2002). *Curso control de contaminación del aire*. Bogotá.
4. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNIVERSIDAD VIRTUAL. (2003). *Aire, energía y calidad*. Bogotá.
5. CEPIS, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. www.cepis.ops-oms.org.
6. ECOPETROL. (1996). *Fichas técnicas de combustibles*. Bogotá.
7. SMITH, J.M. y VAN NESS, H.C. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. Mc Graw Hill.
8. HOUGUEN, O.A., WATSON, K.M. y RAGATE, R.A. (1986). *Principios de los procesos químicos*. John Wiley and Sons, New York.
9. PERRY. *Manual del ingeniero químico*. Mc. Graw Hill.
10. www.dama.gov.co
11. Unidad de planeación minero-energética. UPME. www.upme.gov.co

