

Carga contaminante emitida a la atmósfera por las fuentes fijas principales en la provincia de Villa Clara. Cuba.

It loads pollutant emitted to the atmosphere by the fixed main sources in the county of Villa Clara. Cuba.

Ing. Vladimir Núñez Caraballo¹, MSc. Rosabel Rodríguez Rojas¹, MSc. Idalberto Herrera Moya², Dr. Julio Pedraza Gárciga², Dra. Mayra C. Morales Pérez², MSc. Dianelly A. Sanches², Ing. Danelis Villarreal Machado³, MSc. Aymeé Herrera García³.

Instituciones: ¹Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Cuba. ²Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. ³Dirección: Martha Abreu 59 altos, esquina Juan Bruno Zayas, Santa Clara, Villa Clara¹. Cuba. E-mail: vladimir.nunez@vcl.insmet.cu, Teléfono: (042) 283664. Geocuba Villa Clara SS.

Resumen

En el año 2011 el dióxido de azufre (SO₂) representó la mayor emisión de contaminantes a la atmósfera por las fuentes fijas en la provincia de Villa Clara, donde las entidades consumidoras de Fuel Oil medio y pesado fueron las máximas responsables debido al % elevado de azufre en este combustible. Los objetivos de este trabajo han sido cuantificar la carga contaminante del SO₂ emitida por las principales fuentes fijas, determinar el % que representa estas emisiones del total de la provincia, municipios, organismos y por consumo de combustible, calcular el Índice de Calidad del Aire (ICA) y proponer posibles medidas de reducción de la emisión. El método aplicado para determinar la emisión de SO₂ fue a través de FE de AP-42, de la USEPA y la evaluación del ICA se realizó a través de la modelación de la dispersión del contaminante con el software ISCST3 Versión 3,15 de la USEPA. Los resultados muestran que la carga contaminante del SO₂ para las fuentes referidas fue de 578.69 t, el 85.29% de la provincia, organismo más contaminador el MINAZ con el 39.14% de la carga y el 20% de las fuentes (destilerías). El ICA fue Buena, Deficiente, Mala, Pésima y Crítica en los territorios. Con la aplicación de las propuestas de medidas para aumentar la eficiencia energética se puede reducir el consumo de combustible de un 3 - 5% (311.62 t) y la emisión en 30.95 t, favoreciendo los costes de las entidades y propiciando la elevación del ICA sobre las zonas poblacionales afectadas.

Palabras claves: Dióxido de azufre, contaminación atmosférica, Índice de Calidad del Aire.

Abstract

In the year 2011 the dioxide of sulfur (SO₂) represented the biggest emission of pollutants to the atmo-

sphere for the fixed sources in the county of Villa Clara, where the entities consumers of Fuel half and heavy Oil was the responsible maxims due to the high% of sulfur in this fuel. The objectives of this work have been to quantify the polluting load of the SO₂ emitted by the main fixed sources, to determine the% that represents these emissions of the total of the county, municipalities, organisms and for consumption of fuel, to calculate the Index of Quality of the Air (ICA) and to propose possible measures of reduction of the emission. The method applied to determine the emission of SO₂ was through FE of AP-42, of the USEPA and the evaluation of the ICA was carried out through the modulation of the dispersion of the pollutant with the software ISCST3 Version 3,15 of the USEPA. The results show that the polluting load of the SO₂ for the referred sources was of 578.69 t, 85.29% of the county, more polluting organism the MINAZ with 39.14% of the load and 20% of the sources. The ICA was Good, Faulty, Bad, Terrible and Critic in the territories. With the application of the proposals of measures to increase the energy efficiency can decrease the consumption of fuel of a 3 - 5% (311.62 t) and the emission in 30.95 t, favoring the costs of the entities and propitiating the elevation of the ICA on the affected population areas.

Key words: Dioxide of sulfur, atmospheric contamination, Index of Quality of the Air.

1. Introducción

La contaminación atmosférica es uno de los problemas globales que tiene efectos nocivos sobre la salud humana, el clima y los ecosistemas. Su definición esta dada por la presencia de determinadas sustancias o forma de energía a concentraciones más elevadas que las normales en la atmósfera [DICA, 2004].

El SO₂ y el trióxido de azufre (SO₃) son los principales óxidos de azufre presentes en la atmósfera. La principal fuente antropogénica de óxido de azufre es la combustión de combustibles fósiles ricos en azufre (ej. carbón, petróleo combustible (*fuel oil*), diesel) y representa cerca de un tercio del total del SO₂ atmosférico [Ciccone, 2003]. En Villa Clara las emisiones de SO₂ de las fuentes fijas alcanzan el 58% del total de las emisiones principalmente porque el 76% del combustible que se consume es Fuel Oil ligero, medio y pesado, con elevado % de azufre (hasta 4%).

Los inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera son indispensables para las actividades de gestión y toma de decisiones en materia de calidad del aire a nivel local, regional y global, no solo porque ayudan a identificar la problemática sino también porque son un instrumento que permite evaluar el impacto de las medidas de control aplicadas a la problemática [Protocolo, 2005].

Por lo general se seleccionan los datos de emisión medidos en las fuentes específicas o los monitoreos continuos de emisiones. Sin embargo, los datos de pruebas en fuentes individuales no están siempre disponibles, y aún existiendo puede que con el tiempo no reflejen la variabilidad de las emisiones reales. De aquí que los factores de emisión sean, en muchas ocasiones, lo mejor o lo único disponible para estimar emisiones a pesar de sus limitaciones [DAMA – INAMCO, 2001].

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con el nivel de actividad asociado con dicha emisión. El nivel de actividad puede ser, por ejemplo, una tasa de producción o la cantidad de combustible consumido. Si se conoce el factor de emisión y el nivel de actividad correspondiente, es posible hacer una estimación de las emisiones. El uso de factores de emisión es directo cuando la relación entre la información del proceso y las emisiones es directa y relativamente simple. Debe mencionarse que el uso de factores de emisión específicos para un establecimiento es preferible al uso de los factores promedio para todo un sector industrial. Sin embargo, dependiendo de los recursos disponibles la obtención de datos específicos para un establecimiento puede no ser costo-efectivo [www.epa.gov].

Una de las principales referencias sobre los factores de emisión para contaminantes criterio es AP-42, que también contiene factores de emisión para un número limitado de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos (U.S. EPA, 1995a). Una base de datos electrónica de los factores de emisión puede encontrarse en el Sistema de Recuperación de Información sobre Factores (*Factor Information Retrieval System - FIRE*), que contiene los mismos factores de emisión para contaminantes criterio que el AP-42 (U.S. EPA, 1995b), así como algunos factores de emisión para contaminantes tóxicos para diversos tipos de fuentes.

El sistema FIRE está disponible en formato electrónico en el Sistema de Boletines (*Bulletin Board System - BBS*) de la Cámara de Compensación para Inventarios y Factores de Emisión (*Clearinghouse for Inventories and Emission Factors - CHIEF*). El sistema FIRE, así como el AP-42, están disponibles en el CDROM Air CHIEF [www.epa.gov].

En la provincia de Villa Clara el inventario de fuentes fijas desarrollado en el año 2010 constituye la base fundamental para la ejecución de este trabajo, permitiendo identificar las fuentes principales responsables de las mayores emisiones de SO₂ a la atmósfera, y sus principales características tecnológicas y técnicas así el deterioro que ellas causan a la calidad del aire en zonas cercanas a estas.

La deposición de los materiales contaminantes descargado al medio ambiente, depende de las condiciones meteorológicas que predominan en la capa atmosférica más cercana a la tierra y está controlada por los valores de velocidad y dirección del viento. Otros factores como la estabilidad de la temperatura, las características topográficas y la rugosidad superficial repercuten mucho en el grado de dispersión de las emisiones por el viento [DIGESA, 2005].

Varias especies animales, incluyendo el hombre, responden al dióxido de azufre mediante constricción bronquial, la que aumenta en la resistencia al flujo de aire. El anhídrido sulfuroso al ser inhalado se hidrata con la humedad de las mucosas constituyendo un riesgo para la salud de las personas y otras especies animales al producir constricción bronquial. Dicho efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación, al respirar aire frío y seco y en personas con hiperreactividad bronquial. De acuerdo a los resultados de estudios epidemiológicos de morbilidad, mortalidad o cambios en la función pulmonar en grupos de población sensible, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que no se supere una concentración de SO₂ de 500 mg/m³ para una exposición de 10 minutos, o de 250 mg/m³ para un periodo de 24 horas, o de 50 mg/m³ para un periodo de un año [WHO, 2005]. En Cuba la NC establece una Cma 500 mg/m³ para una exposición de 20 minutos y de 50 mg/m³ para un periodo de 24 horas.

Objetivo general.

Cuantificar la carga contaminante de SO₂ emitida a la atmósfera por las fuentes fijas principales en la provincia de Villa Clara.

Objetivos específicos.

1. Determinar el porcentaje que representa estas emisiones del total de la provincia, municipios, organismos y por consumo de combustible.
2. Calcular el Índice de Calidad del Aire para cada territorio.
3. Proponer posibles medidas de reducción de la emisión.

1. Materiales y métodos.

Las fuentes fijas principales que se analizan en este trabajo se muestran en la tabla siguiente, donde se describe el nombre de cada una, organismo a que pertenecen, tipo de combustible que consumen, ubicación territorial, los datos corresponden al inventario de fuentes fijas en la provincia de Villa Clara en el año 2011, elaborado en el Centro Meteorológico Provincial.

Tabla 1. Datos de las fuentes fijas de emisión.

Nro.	Nombre de las Fuentes Fijas	Municipios	OACES	Tipo de combustible
1	Hospital Prov. Docente "Arnaldo M. Castro" (HAMC)	Santa Clara	MINSAP	Fuel-oil medio
2	Recapadora de Neumáticos "POLIGOM" (RP)	Santa Clara	MINBAS	Fuel-oil medio
3	Empresa Textil "Desembarco del Granma" (ETDG)	Santa Clara	MINIL	Fuel-oil pesado
4	Pasteurizadora Cubanacán (PC)	Santa Clara	MINAL	Fuel-oil medio-pesado
5	Empacadora de "Vega de Palma" (EVP)	Camajuani	MINAL	Fuel-oil medio
6	Destilería "Heriberto Duquezne" (DED)	Remedios	AZCUBA	Fuel-oil pesado
7	Fábrica de Conserva "Reinado" (FCR)	Cifuentes	MINAL	Fuel-oil medio
8	Cervecería Antonio Díaz Santana (CAD)	Santo Domingo	MINAL	Fuel-oil medio-pesado
9	Destilería "J. Wachingtong" (DJW)	Santo Domingo	AZCUBA	Crudo cubano 1400
10	Fábrica de Cigarros "Ramiro Lavandero" (FRL)	Ranchuelo	MINAGRI	Fuel-oil medio

El consumo de combustible (CC) en las calderas generadoras de vapor de cada fuente en el periodo analizado corresponde a los datos emitido por el departamento económico, los mismos aparecen registrados en el siguiente gráfico.

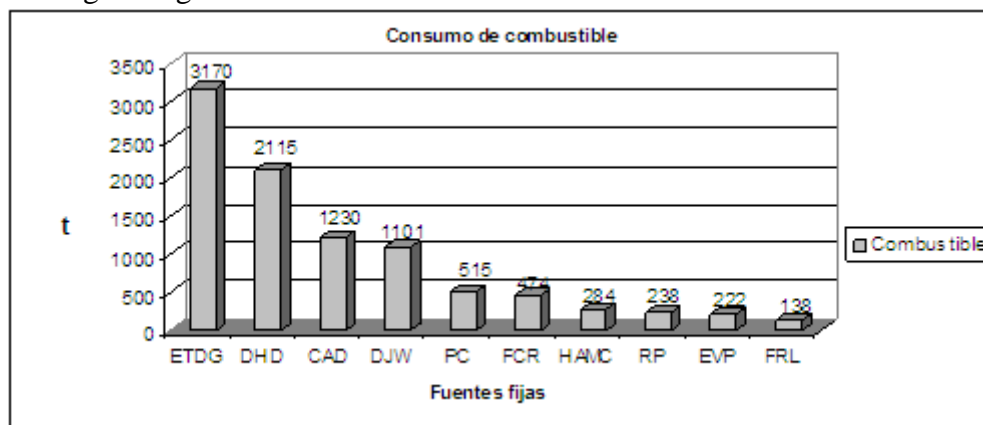


Gráfico 1. Consumo de combustible.

Las fuentes de mayor consumo de combustible fueron la Empresa Textil "Desembarco del Granma" con el 33.41% y la Destilería "Heriberto Duquezne" con el 22.29%.

La estimación de la emisión del SO₂ se realizó a través de factores de emisión teniendo en cuenta para su selección la siguiente metodología; muestreo de fuentes representativas (55% de las analizadas) utilizando analizadores de gases del tipo ECOM SG-PLUS y Testo 300 XL-1, y otros FE correspondientes a los existentes en la bases de datos de emisión para contaminantes criterio en AP-42 (U.S. EPA, 1995b) que han sido utilizados en los inventarios de emisión de México, Ecuador, Perú, Colombia, Argentina y otros países de la región.

Finalmente se realizó unos análisis de correlación para los resultados del SO₂ en las fuentes medidas y los calculados a través de los FE seleccionados (total 5), el método utilizado fue el de STEPWISE, conformándose una base de datos de los FE que fueron altamente significativos al 100% con la medición del contaminante. A estos FE seleccionados (total 3) se le aplicó un análisis de regresión simple para escoger el FE que su resultado estuviese más cercano a los valores medidos (93%), el seleccionado se

utilizó en todas las fuentes.

El algoritmo básico para la estimación de emisiones aplicando un factor de emisiones no controladas es:

$$E = A \times FE, \text{ donde}$$

E = emisión de contaminantes (generalmente expresado en toneladas métricas por año)

A = tasa activada (por ejemplo, consumo de combustibles, cantidad y tipo de materia prima procesada por año)

FE = factor de emisiones (por ejemplo, gramos de contaminante emitido por kilogramos de combustible consumido)

La determinación del ICA se realizó a través de la modelación de la dispersión del SO₂, para ello se utilizó el software especializado ISCST3 Versión 3.15 ® para Windows® de la USEPA.

Los datos meteorológicos (dirección y velocidad del viento, temperatura, lluvia, estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla) empleados en la modelación corresponden a los valores obtenidos por las estaciones meteorológicas del Yabú, Caibarién y Santo Domingo, los cuales abarcan las zonas de estudio. Otros datos de las fuentes como altura y diámetro de la chimenea, temperatura de salida de los gases, altura sobre la base corresponden a los registrados en el inventario de fuentes fijas del territorio, la velocidad de salida de los gases fue calculada en cada caso. También se tuvo en cuenta la topografía y elevaciones del terreno.

1. Resultados y discusión.

En el siguiente gráfico se muestra la carga contaminante emitida por las fuentes fijas.

La emisión total de estas fuentes llegó a ser de 578.69 t de SO₂, lo que representa el 85.29% de la emisión total del territorio, las fuentes de mayor carga contaminante fueron la Empresa Textil “Desembarco del Granma” con 182 t el 31.45% y Destilería “Heriberto Duquezne” con 121 t para un 20.98%.

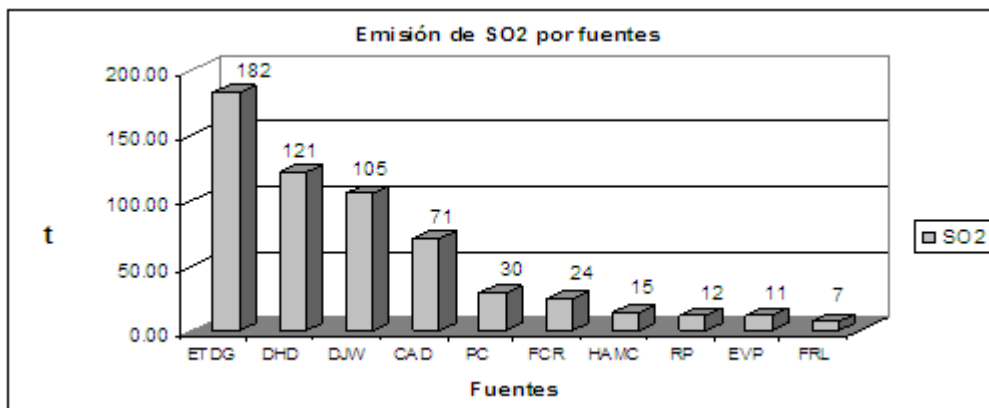


Gráfico 2. Emisión de SO₂ por las fuentes fijas.

La emisión del SO₂ por organismos está representada en el gráfico 3, donde los máximos responsables fueron AZCUBA con 226.50 t (39.14%) y el 20% de las fuentes y el MINIL con 181.97 t (31.45%) y el 10% de las fuentes.

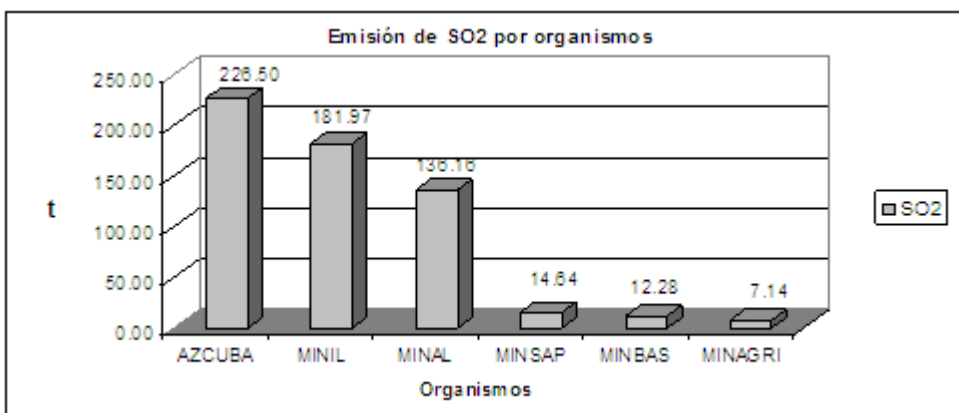


Gráfico 3. Emisión de SO₂ por organismos.

El análisis de la emisión del SO₂ por municipios se muestra en el gráfico 4, en el caso de Santa Clara fue de 238.48 t (41.21%) y el 40% de las fuentes y Santo Domingo con 175.73 t (30.36%) y el 20% de las fuentes, llegando a ser el 35.1 y 25.9% respectivamente de la carga contaminante de los municipios del territorio.

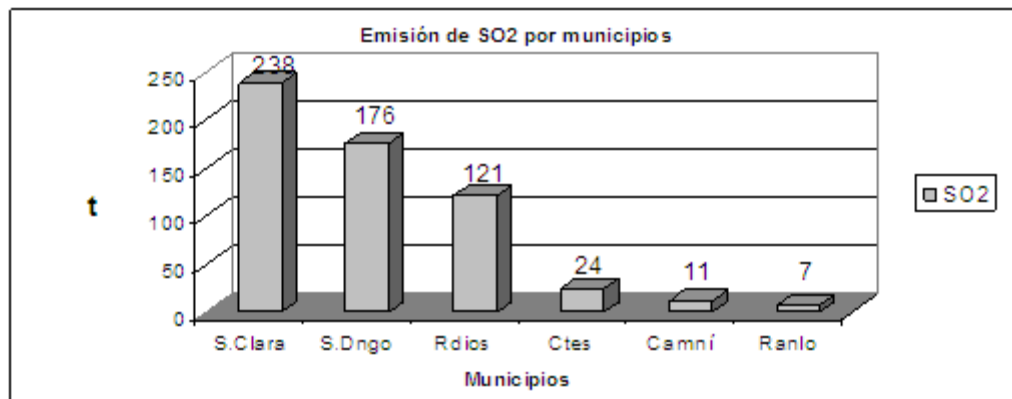


Gráfico 4. Emisión de SO₂ por municipios.

Índice de Calidad del Aire para cada fuente sobre los asentamientos poblacionales.

En la figura 1 aparece un ejemplo de la modelación de la dispersión del SO₂ donde se puede evaluar el ICA, en este caso la empresa Textil “Desembarco del Granma” del municipio de Santa Clara, los demás resultados de cada una de las fuentes están plasmados en la tabla 2, donde se puede apreciar el deterioro de la calidad del aire por estas fuentes, exclusivamente la Cervecería Antonio Díaz Santana da lugar a un ICA de Buena según 3, la concentración máxima alcanza el 54% de la Cma, según 4, sin embargo está fuente es la tercera consumidora de combustible y la cuarta emisora de carga contaminante pero al mismo tiempo dispone de la chimenea más elevada (40 m) facilitando el transporte y dispersión del SO₂. Las demás fuentes dan lugar a ICA de la siguiente forma, tres Deficiente, una Mala, cuatro Pésima, y una Crítica que es la Pasteurizadora Cubanacán ocupante del quinto lugar por consumo de combustible y emisión del SO₂ pero la altura de la chimenea es de 15 metros, ineficiente para la descarga de los gases a la atmósfera en un punto alejado de la superficie del suelo.

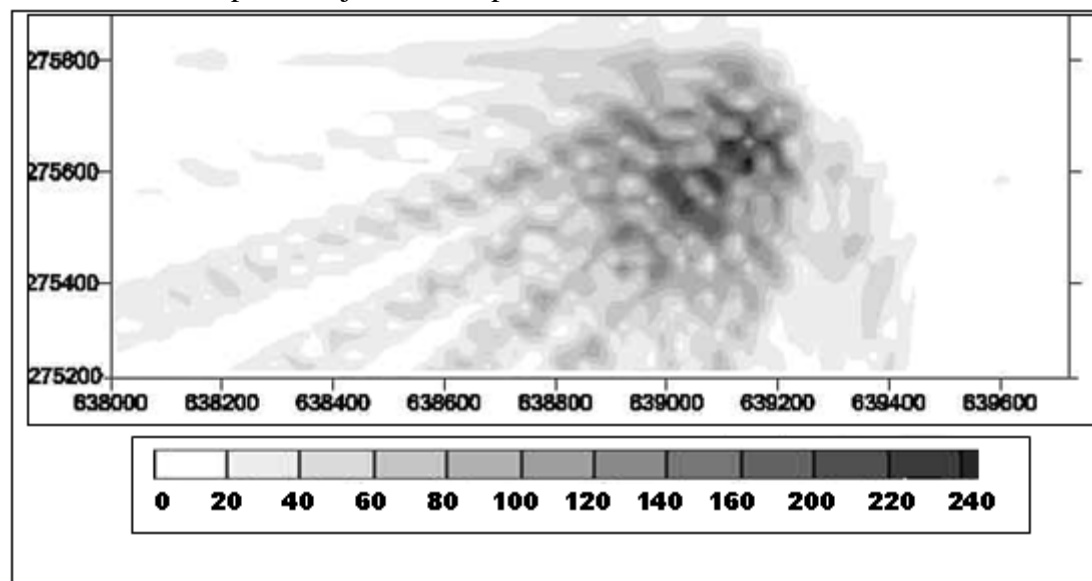


Figura 1. Dispersión del SO₂ en 24 horas emitido por la fábrica de conservas “Reinado”

Tabla 2. ICA para cada fuente.

Nro	Nombre de las Fuentes Fijas	Cma (µg/m3)	Valor que alcanza de la Cma	ICA	De la Emisión Total (%)
1	Cervecería Antonio Díaz Santana (CAD)	27,00	0,54	Buena	12,12
2	Destilería "Heriberto Duquezne" (DHD)	70,00	1,4	Deficiente	20,84
3	Recapadora de Neumáticos "POLIGOM" (RP)	75,00	1,5	Deficiente	2,11
4	Fábrica de Cigarros "Ramiro Lavandero" (FRL)	90,00	1,8	Deficiente	1,23
5	Empacadora de "Vega de Palma" (EVP)	140,00	2,8	Mala	1,97
6	Destilería " J. Wachingtong" (DJW)	220,00	4,4	Pésima	18,04
7	Hospital Prov. Docente "Arnaldo M. Castro" (HAMC)	230,00	4,6	Pésima	2,51
8	Empresa Textil "Desembarco del Granma" (ETDG)	240,00	4,4	Pésima	31,23
9	Fábrica de Conserva "Reinado" (FCR)	240,00	4,8	Pésima	4,20
10	Pasteurizadora Cubanacán (PC)	280,00	5,6	Crítica	5,07

Propuesta de acciones basadas en herramientas de eficiencia energética para disminuir las pérdidas en los generadores de vapor.

1. Recuperación del calor de los gases.
2. Ajustar la mezcla aire-combustible.
3. Eliminar posibles pérdidas de calor en paredes, tuberías, válvulas y purgas.
4. Cumplir con la regulación, revisión y limpieza periódica de la caldera y sus componentes.
5. Recuperar los condensados de los intercambiadores de calor.
6. Mantener actualizados los Balances de masa y energía.
7. Verificar periódicamente la eficiencia de la combustión.
8. Elevar la altura de las chimeneas para mejorar el ICA.
9. Capacitar los recursos humanos de cada puesto de trabajo.
10. Elevar el control de la calidad del proceso productivo.
11. Mantener un Índice de Consumo lo más bajo posible, sin fluctuaciones.
12. Elevar el control de la calidad del proceso productivo.

Posibles resultados a alcanzar en un año después de aplicar medidas que conducen a disminuir el consumo de combustible en los generadores de vapor.

La disminución del consumo de combustible puede llegar hasta el 20% de lo gastado si las deficiencias detectadas sobrepasan el 50% de las mostradas en la guía, los cálculos estimados que se muestran en la siguiente tabla se realizaron para una posible disminución del 3 al 5% del consumo de combustible, equivalente a 311.62 t ahorrando al país más de \$110 000.00USD teniendo en cuenta el precio actual del combustible.

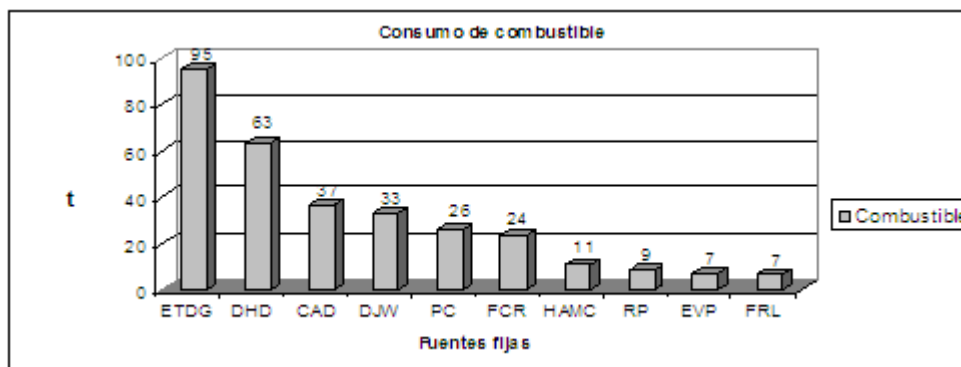


Gráfico 5. Consumo de combustible que se puede ahorrar.

La reducción de emisión de SO₂ por concepto de disminución de consumo de combustible puede llegar a ser de 22.9 t, en el gráfico 6 aparecen los valores para cada una de las fuentes.

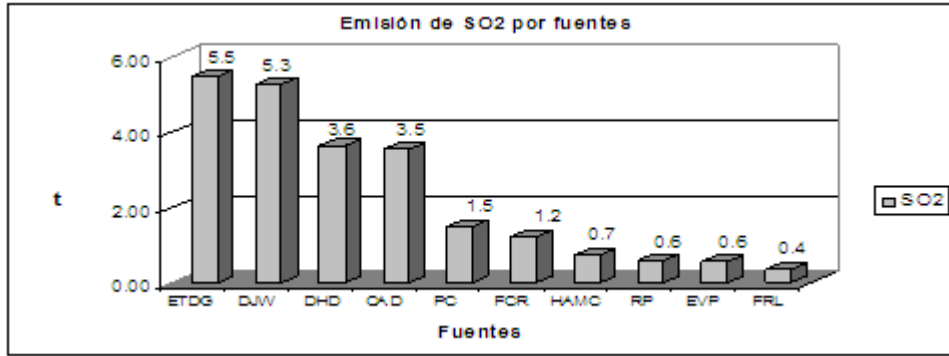


Gráfico 6. Reducción de la emisión de SO₂ por fuentes.

Conclusiones.

1. Las emisiones de SO₂ por las fuentes analizadas constituye la principal causa del deterioro ambiental y sus impactos negativos en los ecosistemas de cada uno de los territorios, con un mayor énfasis en los municipios de Santa Clara y Santo Domingo, representado por los organismos de AZCUBA y el MINIL.
2. La aplicación y cumplimiento de las medidas de eficiencia energética propuestas en esta investigación por parte de las fuentes responsables, pueden disminuir el consumo de combustible en 315.06 t y la emisión de SO₂ en 22.9 t, favoreciendo el ICA, la calidad de vida de las personas y la economía del país.

Bibliografía

1. Air Quality Index (AQI). Disponible en Internet, sitio: www.epa.gov/airnow.htm
2. World Health Organization (WHO). Editor. Air quality. Bonn. 2005
3. NC 111:2004 Calidad del Aire-reglas para la Vigilancia de la calidad del Aire en Asentamientos Humanos.
4. NC 39/99 Calidad del Aire. Requisitos Higiénicos Sanitarios
5. Protocolo para el control y vigilancia de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fija. México, 2005.
6. DICA. Dirección general de investigación sobre la contaminación urbana, regional y global. Informe final del proyecto. "Comparación de modelos de dispersión de emisiones provenientes de fuentes fijas" Instituto Nacional de Ecología. Tuxpan, México. Octubre de 2004.
7. Ciccone, Anthony and Short, Melanee. 2003. Guidelines for Compiling Emission Inventories for the Ontario Mining Association, 2003 Revision. February 2003. Earth Tech Canada Inc.
8. DIGESA. Dirección general de salud ambiental. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Perú 2005.
9. DAMA – INAMCO. Informe final del contrato 079/2000. Elaborar un Inventario de fuentes fijas de emisión de contaminantes a la atmósfera en la ciudad de Bogotá. Santa fe de Bogotá, Noviembre 30 de 2001
10. Kelly G, "Environmental Engineering". McGraw Hill International Editions., Singapore (1998).
11. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, 1987 (WHO Regional Publications, European Series, No. 23)
12. Guía de datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos para fuentes puntuales industriales. Norma Cubana 242:2005.
13. Turmo E, Cuscó José M. Atmósfera [NTP 329 Modelos de dispersión de gases y-o vapores en la atmósfera fuentes puntuales continuas. mht. Instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo. España 2006.
14. Eficiencia energética en la distribución de alimentos. 2009 [cited; Available from: <http://go.microsoft.com/fwlink/?LinkId=69157>
15. Contaminación Atmosférica. <http://www.sima.com.mx>
16. Guía de Producción Más Limpia. (2002) www.estrucplan.com.ar/Producciones