UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE QUÍMICA - FARMACIA

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN DEL GRADO CIENTÍFICO DE MASTER EN INGENÍERIA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL.

Título: Estudio de la contaminación atmosférica provocada por la Central Diesel Eléctrica de Cayo Santa María.

Autor : Ing. Héctor Treto Fernández.

Tutor : Msc. Reinaldo Marcelino Martínez Martínez.

Curso 2002 – 2003

“Año de Gloriosos Aniversarios de Martí y el Moncada”

Resumen:

En el presente trabajo se hace un análisis de la contaminación atmosférica provocada por la Central Diesel Eléctrica de Cayo Santa María perteneciente al Municipio de Caibaríen. Para llevar a cabo esta actividad se analizaron los gases productos de la combustión y se determinaron los gramos por segundo de SO_2 , CO, CO_2 y NOx que esta planta esta emitiendo a la atmósfera. Estos datos se mezclaron con los de velocidad y dirección de los vientos , temperatura, presión, precipitaciones, humedad relativa y con un mapa en Autocat con las coordenadas y características de la zona de estudio y fueron introducidos en el Software ISCST3 de la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos, el cual hace un análisis hora por hora del comportamiento de la dispersión de los contaminantes y nos permite conocer para cualquier punto de la zona cual va a ser la concentración máxima de los contaminantes analizados. Luego se comprobó lo veracidad de los resultados de este programa mediante la medición en diferentes puntos de las concentraciones de SO_2 con una estación captadora CPV-8D7A.

INDICE.

1	Capítulo 1: Revision Bibliografica.	
1.1	Conceptos basicos.	1
1.2	Tipos de Contaminantes.	6
1.3	Caracteristicas de los Agentes contaminantes.	8
1.4	La meteorología y la atmósfera	17
1.5	*Transporte y transformación de los contaminantes*	21
1.6	Toma de muestra de los contaminantes	22
1.7	Métodos de Análisis de los Contaminantes	26
1.8	Cambios atmosfericos globales	37
1.9	Efectos de los contaminantes atmosfericos	44
1.91	Efectos de los contaminantes sobre la atmósfera	45
1.92	Efecto de los contaminantes sobre los Vegetales	47
1.93	Efecto de los contaminantes sobre la salud	48

INTRODUCCIÓN.

“El hombre es el único ser en el planeta capaz de cambiar la ecología drásticamente y gracias a eso ha podido sobrevivir en medio de la actual explosión demográfica. Sin embargo, se ha visto que el camino utilizado en los últimos años, necesita de algunas modificaciones tendientes a corregir errores que podrían acabar con su existencia actual en la Tierra.

Se habla mucho de los avances tecnológicos y estos son indiscutibles, pero hasta hace muy poco tiempo se ha empezado a considerar el despilfarro tan enorme de la energía consumida, así como el desequilibrio creado al agotarse los recursos naturales a una velocidad vertiginosa, comparada con el ritmo seguido por la naturaleza para crearlos”. ***(Castro Ruz, 1992)***

En el futuro las empresas de éxito serán aquellas que lleven a cabo de forma radical las mejoras y modificaciones necesarias para lograr la ecoeficiencia, es decir, producir de forma creciente bienes y servicios útiles mientras reducen sus niveles de consumo y contaminación ***(Brugger, 1993)***

En el mundo la generación de energía se ha sumado al deterioro del medio ambiente, fundamentalmente por la quema de combustibles fósiles. Siendo la industria la causante del 60 % de las emisiones a la atmósfera, del 30% de los residuos sólidos y del 50% de los afluentes líquidos. ***(Ferrer 1994).***

En la actualidad la cuestión ambiental se identifica como una de las más importantes preocupaciones de la humanidad ; el auge que ha tomado esta temática en los últimos años se relaciona con la intensificación de numerosos problemas a todas las escalas , que afectan a la sociedad de forma cada vez más nefasta . Según rigurosos estudios , hay claras evidencias de que la situación ambiental de la Tierra en nuestros días se ha tornado precaria ; y por primera vez en la historia , el ser humano tiene la posibilidad de destruir el planeta .
Lo que en determinado momento fueron manifestaciones aisladas y puntuales de la relación entre el hombre y la naturaleza e incidían solo en el área que se generaban, en la actualidad se tornan críticas y alarmantes y es que ciertamente con el desarrollo actual de la humanidad, los problemas locales adquieren una dimensión e impacto mundial.

Muchas de las acciones que realiza actualmente la humanidad producen un daño o menoscabo de las condiciones iniciales de la superficie terrestre, a su vez la

sociedad y sus contradicciones , generan fenómenos y deformaciones que afectan la situación socio-ambiental del ser humano ; el resultado de estos factores provoca el deterioro ambiental y su manifestación es compleja e interactiva. También la naturaleza da origen a situaciones adversas de carácter esporádico (terremotos , vulcanismo, inundaciones ,etc.) pero a largo plazo , ella misma se recupera .

La suma de estas acciones negativas tiene consecuencias generalizadas sobre todo el planeta , en tal sentido se pueden mencionar como algunos de los principales problemas ambientales de carácter global , los siguientes :

1) Los cambios climáticos y el efecto invernadero.
2) La disminución de la capa de ozono.
3) Deforestación y pérdida de la diversidad biológica.
4) La degradación de los suelos y la desertificación.
5) El efecto de la crisis urbana.
6) El riesgo nuclear y los conflictos armados.

Se dice que la contaminación no conoce fronteras ya que es transportada por el aire o por los mantos acuíferos, de un lugar a otro. En la década del 70 aún se consideraba que los contaminantes solo producían impactos negativos a nivel local, sin embargo, pronto se reconoció que algunas emisiones como las relacionadas con el fenómeno de la lluvia ácida, podrían ser alejadas o transportadas hasta regiones de cientos de kilómetros. Uno de los ejemplos que se menciona con frecuencia es el de la muerte de miles de peces en los lagos suecos como consecuencia de la acidificación de sus aguas provocada por la lluvia ácida que se forma a partir de las emisiones provenientes de la actividad industrial en el continente europeo.

Por otra parte, el deterioro del medio ambiente a nivel mundial aumenta a medida que aumenta el crecimiento del volumen de la producción industrial, así se tiene que anualmente:

- Se extraen 100 000 millones de toneladas de combustibles, minerales y materiales de la construcción.
- Se producen 50 millones de toneladas de productos sintéticos.
- Se riegan en los campos 92 millones de toneladas de fertilizantes minerales y más de 2 millones de toneladas de varios compuestos químicos tóxicos.
- La atmósfera recibe más de 200 millones de toneladas de CO, más de 50 millones de toneladas de diferentes hidrocarburos, aproximadamente 140

millones de toneladas de SO_2, 53 millones de toneladas de óxidos de nitrógeno y otros contaminantes.

- Las plantas industriales envían a la atmósfera más de 200 millones de toneladas de cenizas y casi 60 millones de toneladas de SO_2.

La energía nuclear, según ***Castro 1997*****,** le ofrece al mundo un método limpio de generación de electricidad para el desarrollo económico sin contaminación atmosférica. Entre 1973 y 1994, las centrales electronucleares, han reducido las emisiones de CO_2 en de 5.2 millones de ton, las de SO_2 en 189 millones de ton y las de NO_x en 425 millones de ton, además ha disminuido el consumo de carbón mineral en 6.8 millones de ton, de petróleo 1.2 millones de ton y más de 40 billones de m^3 de gas natural.

En las últimas décadas, se han acumulado datos científicos que indican que la Humanidad está amenazada por el peligro del calentamiento global de la Tierra, y el aumento de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Estos peligros son serios, ya que la existencia de la vida en la Tierra es posible gracias a un delicado balance de fenómenos naturales, que han sido seriamente perturbados por la actividad humana.

Según afirma Klaus Töpfer, Director Ejecutivo del PNUMA "la carga económica de la contaminación aportado por la generación de energía, se calcula entre el 0.5 y 2.5 por ciento del PNB mundial, cerca de 150 a 750 miles de millones de dólares por año. Por sí mismos, estos hechos son razón suficiente para encontrar nuevas fuentes de energía y cambiar la manera en la que ésta se utiliza. Sin embargo, la creciente avidez mundial de combustibles fósiles ha dado origen a una razón incluso más apremiante para acelerar la transición a formas de energía más limpias, a saber, el cambio climático global" ***Natural Selection: Evolving Choices for Renewable Energy.***

En Cuba se le concede una atención especial al cuidado del medio ambiente, tomando como guía las concepciones Martianas acerca de la relación del hombre con la naturaleza.

La Ley No 81 del medio ambiente, promulgada por la Asamblea Nacional en correspondencia con el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, tiene como objetivo establecer los principios que rigen la política del estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible del país. ***(Arniella, 1998)***

Los principales problemas ambientales caracterizados en la estrategia del país son la degradación de los suelos, el deterioro del saneamiento y las condiciones ambientales en asentamientos humanos, la contaminación de las aguas terrestres

y marinas, la deforestación, la perdida de la diversidad biológica que implicación de los recursos naturales y la contaminación de la atmósfera. Además se le presta especial atención a la contaminación provocada por el uso ineficiente de los combustibles fósiles en la industria energética.

Identificación del problema

La Cayería Norte de Villa Clara esta en pleno desarrollo turístico, cada año deben crecer el numero de habitaciones y de turistas que visiten esa zona del país, además numerosos trabajadores laboran en las tareas de aseguramiento de este futuro polo turístico. Además en esta cayería existe un ecosistema prácticamente virgen por lo que se hace necesario el estudio de la calidad del aire en esta región y determinar la influencia que sobre la contaminación atmosférica esta teniendo la Central Diesel Eléctrica Cayo Santa María.

Problema científico:

Se desconoce la influencia que sobre la calidad del aire en el Cayo Santa María esta teniendo la Central Diesel Eléctrica, ubicada en este lugar.

Hipótesis:

La Central Diesel Eléctrica del Cayo Santa María tiene un impacto negativo en la calidad del aire de esta zona de la cayería norte del país.

Objetivo General:

Realizar un estudio de la influencia de la Central Diesel Eléctrica en la calidad del aire del Cayo Santa María.

Objetivos específicos:

Analizar las concentraciones de SO_2, NO_x y CO múltiples puntos del Cayo Santa María y las emisiones de CO_2 producto de las emisiones de gases de la combustión de la planta Eléctrica.

Determinar la dispersión de los contaminantes producidos por la central eléctrica mediante la utilización del software ISCST3 en el área del Cayo Santa María.

Determinar las concentraciones de SO_2 en varios puntos del Cayo mediante mediciones de inmisión para corroborar los resultados obtenidos con el ISCST3.

Identificar episodios críticos de contaminación atmosférica en un ecosistema frágil de altísimo interés económico como el polo turístico Santa María.

Analizar comparativamente las concentraciones medidas y estimadas de los contaminantes en la atmósfera con las normas cubanas de calidad del aire.

Tareas a desarrollar:

- Confeccionar una reseña bibliográfica amplia que permita conocer el estado actual de contaminación atmosférica, los principales contaminantes y su efecto sobre la salud así como la influencia de las condiciones meteorológicas en la dispersión de los contaminantes.
- Realizar una caracterización del área de estudio.
- Obtener los datos meteorológicos del cayo mediante el montaje de una estación automática en el mismo.
- Definir los estados de cargas mas probables a los que trabajan los generadores de la Central Eléctrica para realizar las mediciones de los gases de la combustión bajo las condiciones mas representativas.
- Medir las emisiones de CO, CO_2, SO_2 y NO_x en las chimeneas de la planta.
- Instalar estaciones captadoras de SO_2 para determinar las concentraciones de este gas en diferentes puntos del Cayo.
- Procesar todos los datos obtenidos en el Software ISCST3 para obtener la dispersión de los contaminantes en todo el Cayo.

Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.

1.1 Conceptos Básicos

El estado protege el Medio Ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política y es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza.

La vida de la sociedad moderna nacida de la civilización del fuego es inconcebible sin el apoyo que en todas las esferas brinda la energía, cada día somos mas dependientes de ellas por lo que cuando disminuye su disponibilidad se producen variadas afectaciones en diferentes esferas como la alimentación, la cultura, la salud, la producción de bienes y servicios entre otros. Por lo que es necesario hacer un uso racional de este recurso que evite su sobreconsumo y disminuya las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. ***(Brown 1996).***

Asociado con la problemática medioambiental existen unas series de conceptos básicos que vamos a analizar a continuación:

Según la ***Ley del Medio Ambiente*** el medio ambiente no es más que el sistema de elementos: abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre y a la vez se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

Otro concepto importante es el de "Desarrollo Sostenible" que es el proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social en una

combinación armónica con la protección del medio ambiente de modo que se satisfagan las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo las de futuras generaciones.

Contaminación o daño ambiental: Toda pérdida, disminución, deterioro o menoscabo significativo, inferido al Medio Ambiente (MA) o a uno o más de sus componentes, que se produce contraviniendo una norma o disposición jurídica.

Impacto Ambiental: es lo que se produce debido a un cambio ambiental.

Evaluación de impacto ambiental: Procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas y proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlas o su concesión bajo ciertas condiciones. Incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control para asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas.

Gestión ambiental: Conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana.

Ecosistema: Sistema complejo con una determinada extensión territorial dentro del cual existen interacciones de los seres vivos entre sí y de estos con el medio físico o químico.

Biodiversidad biológica: Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas

acuáticos y complejos ecológicos de los que forman parte. Comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

Costo Ambiental: Es el asociado al deterioro actual o perspectivo de los recursos naturales.

Licencia Ambiental: Documento oficial que sin perjuicio de otras licencias, permisos y autorizaciones que de conformidad con la legislación vigente corresponda conceder a otros órganos y organismos estatales; es otorgado por el CITMA para ejercer el debido control al efecto del cumplimiento de lo establecido en la legislación ambiental vigente y que contiene la autorización que permite realizar una obra o actividad.

Agricultura sostenible: Sistema de producción agropecuaria que permite obtener producciones estables de forma económicamente viable y socialmente aceptable, en armonía con el medio ambiente.

Áreas protegidas: Partes determinadas del territorio nacional declaradas con arreglos a la legislación vigente, de relevancia ecológica, social e histórico- cultural para la nación, y en algunos casos de relevancia internacional, especialmente consagradas, mediante un manejo eficaz, a la protección y mantenimiento de la diversidad biológica y los recursos naturales, históricos y culturales asociados a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación.

Educación Ambiental: Proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, orientada a que en la adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos, habilidades, y actitudes y en la formación de valores, se armonicen las relaciones entre los seres humanos y de ellos con el resto de la sociedad y la naturaleza, para propiciar la orientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible.

Química Ambiental: Trata de los orígenes, transporte, reacciones y efectos de las especies químicas en el agua, el aire, en el suelo (terrestre) y en los organismos vivos. Se relaciona con la Química Orgánica, el Análisis Químico, la Química Física, la Fotoquímica, la Geoquímica y la Bioquímica.

La definición de contaminación o daño ambiental dado por la ley 81/1997 está enfocada desde el punto de vista jurídico. Otra definición que podemos dar de contaminación, (pollution), es que la contaminación ocurre cuando un exceso de sustancia generada por la actividad humana está presente en una porción dañada del medio ambiente.

La pureza medio ambiental se refiere a menudo al aire y el agua que es saludable y agradable para el consumo, así como libres de agentes biológicos y químicos causantes de enfermedades.

La contaminación medio ambiental es la combinación de la sustancia y el lugar, así por ejemplo el O_3 es un gas tóxico irritante, en la troposfera es un contaminante, en la estratosfera es un protector de la vida.

Además la contaminación es la degradación del medio ambiente como resultado de la actividad humana más que de los eventos naturales (fenómenos naturales) que ocurre fuera de nuestro control. Es causado por humanos y debe ser controlada por humanos.

Ecosfera: Componentes

Ecosfera: (Del griego oikos=casa) Medio ambiente Terrestre (en mayúscula pues es la Tierra (planeta)).

Existen 4 regiones bien definidas del medio Terrestre o Ecosfera:

1. Litosfera (del griego lithos = piedra): Es la capa rígida y dura de la Tierra y tiene un grosor de aproximadamente 100 Km.

Una capa relativamente fina y superficial de la litosfera forma la corteza terrestre donde caminamos, construimos y plantamos, se extiende desde ≈ 8 Km. debajo de los océanos a 45 Km. debajo de los continentes.

2. Atmósfera (Del griego atmos = vapor): Comprende los gases circundantes que rodean a la Tierra, o sea la capa de aire que la rodea. Es más densa cerca de la superficie terrestre y disminuye conforme se extiende al espacio. Se clasifica en :

a) Troposfera: La porción de la atmósfera que se extiende hasta cerca de ≈ 12 Km.; es donde se produce la formación de nubes y el movimiento del aire (vientos)

b) Estratosfera: La porción de la atmósfera que se extiende a partir de los 12 Km. hasta ≈ 50 Km., carece de nubes y vientos. Aire algo enrarecido, cantidad insignificante de vapor de agua, aumenta el contenido de O_3 alcanzándose su máxima concentración entre 40 y 50 Km. de altura.

c) Mesosfera: Entre 50 y 80 Km. de altura, Se caracteriza por descenso sostenido de la temperatura.

d) Ionosfera: La porción de la atmósfera (entre 80 y 640 Km. de altura) se caracteriza por un aumento de la temperatura pudiendo alcanzar temperaturas alrededor de los 1000ºC

e) Exosfera: Es la capa más alta de la ionosfera hasta los 9600 Km. de altura y constituye el límite exterior de la atmósfera, los gases pueden escapar al espacio interplanetario.

3. Hidrosfera: (Del griego hidro = agua) Incluye el agua de los lagos, ríos, mares y depósitos subterráneos, al igual que el agua contenida en el hielo y la nieve de la Tierra y la que forma parte de las nubes y la humedad de la atmósfera que en conjunto representan una cantidad considerable.

4. Biosfera: (Del griego bio = vida) Comprende la atmósfera (dentro), la hidrosfera (dentro) y sobre la litosfera, donde habitan las plantas y animales.

Ahora bien, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera se entremezclan hasta cierto grado:

- La atmósfera contiene vapor de agua y partículas de polvo.
- La hidrosfera contiene gases disueltos y partículas de la litosfera.
- Las aguas de la hidrosfera cubren y se introducen en porciones de la litosfera.

- todo esto proporciona los medios para la existencia y el mantenimiento de la biosfera.

La superposición armoniosa de estas tres porciones de la ECOSFERA proporcionan los medios para la existencia y el mantenimiento de la BIOSFERA.

1.1.2 Consideraciones generales sobre la composición química de la ecosfera.

De forma general se plantea que, las 4 regiones o porciones del medio ambiente contienen elementos en los diferentes estados de combinaciones. En la tabla # 1 se dan los porcentajes en masa de los 18 elementos que constituyen alrededor del 99,5 % de la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera.

Tabla # 1: % en masa de los componentes de la Exosfera.

Elemento	**Porcentaje**	**Elemento**	**Porcentaje**
Oxígeno	49,20	Cloro	0,19
Silicio	25,67	Fósforo	0,11
Aluminio	7, 50	Magnesio	0,09
Hierro	4,71	Carbón	0,09
Calcio	3,39	Azufre	0.06
Sodio	2,63	Bario	0,04
Potasio	2,40	Flúor	0,03
Magnesio	1,93	Nitrógeno	0,03
Hidrógeno	0,87	Otros elementos	0,47
Titanio	0,58		

Litosfera: Está constituida principalmente de roca y parte de tierra, contiene combinaciones de Si, O_2, Al y muchos otros metales. La mayoría de los metales

existen en combinaciones de compuestos químicos, y unos cuantos, como el oro, se encuentran sólo de vez en cuando como metales libres no combinados. Los metales están distribuidos dentro de la litosfera en muy pequeños porcentajes. En algunas ocasiones, debido a procesos geológicos, ciertas sustancias químicas se localizan en la litosfera. Estas acumulaciones de sustancias se denominan "depósitos minerales". Cuando tales depósitos minerales contienen elementos que el hombre necesita, y su extracción es posible, se les conoce como minerales extraíbles. Se calcula que los depósitos minerales utilizables constituyen menos del 1% de la corteza terrestre. Por ejemplo se tiene el caso de un mineral. Al contenido de Al en la mayoría de las rocas es cerca del 8%, sin embargo, los depósitos de mineral de bauxita contienen cerca del 25% de Aluminio, por lo que es extraíble por procesos químicos.

Los metales que se usan en sociedades industrializadas son de Fe, Cu, Al, y otros que se emplean como fertilizantes fosfatado, nitrogenados y con potasio.
Composición de la corteza terrestre (%):O_2 =46, Si = 28, Al = 8, Fe = 6, Ca =4, Na= 3,
Mg = 2, K =2, Ti =0,6, H_2 =0,1.

Hidrosfera: Se compone principalmente de hidrógeno y oxígeno combinados para formar agua. No obstante, en el agua de mar también existen muchos elementos disueltos en diversas formas, aunque en porcentajes pequeños.
Si se evapora 1L de agua de mar, se obtendrán aproximadamente 35 g de sustancias químicas, obteniéndose una gran cantidad de NaCl. También, por medio de procesos químicos, se extraen cantidades importantes de magnesio y bromo de esta agua de mar.

Atmósfera: El aire es una mezcla homogénea de gases. Los principales componentes del aire seco, en porcentaje en volumen, son:

Nitrógeno	N_2	78,1%

Oxígeno	O_2	21,0%
Argón	Ar	0,93%
Dióxido de Carbono	CO_2	0,03%
Neón	Ne	0,0018%
Helio	He	0,00053%
Kriptón	Kr	0,0001%

La atmósfera contiene cantidades variables de vapor de agua y polvo. La cantidad de vapor de agua varía desde niveles muy pequeños en las regiones desérticas hasta volúmenes muy grandes en las regiones tropicales. El vapor de agua se condensa para formar nubes, lluvia y nieve

Biosfera: la biosfera incluye toda la vida vegetal y animal, y se centra cerca de la interfaz entre la litosfera y la hidrosfera; pero en los extremos se extiende a miles de metros hacia la atmósfera (las aves) y a miles de metros en la profundidad de los océanos (peces). Los principales elementos que estructuran la materia viviente son C, O_2 e H_2. Estos elementos se combinan en las sustancias químicas de la vida, de tal manera que el porcentaje en masa de composición de la biosfera es de 52% de O_2, 39% de C y 6,7% de hidrógeno. Además existen más de 10 elementos que se encuentran en pequeñas cantidades en la biosfera, lo más importante son N, S, P.

1.2 Clasificación de los contaminantes

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos **"contaminan**" el aire. Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquéllos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar como contaminante a:

> *Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.*
> ***(Jendritzky, 1998)***

En todo proceso de contaminación es necesario medir los índices de emisión y los índices de inmisión. Para medir los índices de emisión tenemos que disponer del número de fuentes contaminantes y del tipo de fuentes, tipo de contaminantes emanados y la concentración de contaminantes. Los índices de inmisión nos da la información de que un contaminante al llegar a la atmósfera sufre una transformación y un transporte, incluyendo la concentración de los contaminantes tenemos los tres niveles de inmisión. Es lógico pensar que tiene que haber unos niveles máximos de emisión por lo que habrá unos niveles máximos de inmisión, estos niveles máximos tienen control legislativo.

El contaminante del aire puede pasar al suelo o al agua, al igual que puede sufrir procesos de transporte y transformación, estos procesos son función de las características de la fuente y de las condiciones del medio sobre el que incide, en este caso la atmósfera.

Las fuentes de la contaminación se pueden clasificar según **(*Wark, 1990)*** en

a) Fuentes naturales: El agente de contaminación natural más corriente es el polvo transportado por el viento, aunque las materias biológicas, las esporas, los pólenes y las bacterias pueden a veces producirse en cantidades suficientes para plantear problemas lejos de sus fuentes naturales.

b) Fuentes agrícolas: Las prácticas agrícolas pueden crear materias biológicas contaminadoras, pero los contaminantes son los insecticidas y herbicidas que se utilizan en la agricultura.

c) Fuentes tecnológicas: Se utiliza esta nomenclatura con preferencia al término "industrial", puesto que casi todas las actividades actuales de este tipo son generadoras de agentes de contaminación y dentro de este grupo, la generación de energía ocupa un lugar importante.

d) Transporte Automotor: También constituye una fuente de contaminación del aire que determina la concentración de los contaminantes en las zonas urbanas.

En la mayoría de las ciudades de Latinoamérica, la principal fuente de emisiones contaminantes proviene del transporte. Las emisiones de los vehículos automotores son el resultado de su combustión incompleta, la falta de mantenimiento del vehículo, las fugas por evaporación del combustible, su eficiencia energética y la ausencia o inoperancia de sus tecnologías de control. La calidad de los combustibles es otro factor determinante (***Odriozola, 1996***)

En cálculos realizados sobre las cargas de contaminantes provenientes de fuentes de combustión móviles se ha podido apreciar que el promedio global que emiten los vehículos automotores es de 48 Kg. de CO, 7.2 Kg. de hidrocarburos, 3.3 Kg. de NO_x, 0.12 Kg. de SO_2 y 0.36 Kg. de partículas por cada 1000 Km. recorridos. ***(Martin, 2003)***

Las fuentes contaminantes a la atmósfera pueden ser además:

Fuentes móviles, que nos indican un transporte.
Fuentes estacionarias: Producción de energía
Incineración de residuos
Consumo de combustibles

Fuentes industriales diversas

Dependiendo del tipo de fuente va a ver distintos tipos de contaminantes, que son aquellos que son emanados en cantidades muy altas y sustancias que son muy tóxicas. La clasificación de los contaminantes se hace atendiendo a los siguientes criterios:

- **Según su origen**

Contaminantes primarios, son aquellos que son emanados directamente de la fuente, los niveles de emisión son las concentraciones de los contaminantes primarios. Pueden ser gaseosos o particulados, se puede ver su importancia en función de las fuentes que los emanan, cantidad total en que son emitidos y tendencia de esos contaminantes a aumentar o disminuir. Para ver la toxicidad relativa de los distintos contaminantes primarios debemos ver el factor de efecto, este factor de efecto se hace tomando como 1 el de menor toxicidad refiriéndose a él todos los demás, así a mayor nivel de factor de efecto más tóxico, tenemos que el más tóxico serán los hidrocarburos, NOx, partículas, SOx y el de menor factor de efecto y al que están referidos los demás son al CO. ***(Senfeld, 1998).***

Contaminantes secundarios, son los que se originan en la atmósfera por reacción entre contaminantes primarios o con la propia atmósfera, los niveles de inmisión son las concentraciones de los contaminantes secundarios.

- **Según su estado físico**

Contaminantes gaseosos, son aquellos que son gases en condiciones ambientales (no normales). Son óxidos de carbono, de azufre, de nitrógeno, compuestos de carbono no óxidos y compuestos halogenados.

Contaminantes particulados (aerosoles), es una suspensión en aire de sólidos o microgotas de líquidos. Son de composición química diversa al igual que su

tamaño y sus propiedades físicas. Podemos nombrar los aerosoles en función del diámetro de las partículas:

Arenillas, son tamaños muy grandes >100um

Polvo, entre 10 y 100 um

Humos, son de origen contaminante y se incluyen sólidos y microgotas de líquidos. Su tamaño va de 0,1 a 10 um.

Cuando hablamos de aerosoles contaminantes usamos el término smog, que define a los aerosoles que reducen la visibilidad, no solo define el aerosol contaminante sino también el proceso de contaminación. Existen dos tipos de smog, que son el fotoquímico y el reductor.

Los principales contaminantes atmosféricos primarios, derivados de la actividad humana, incluyen:

- Partículas atmosféricas
- Compuestos de azufre
- Compuestos de nitrógeno
- Compuestos orgánicos
- Compuestos metálicos
- Ruido
- Radiaciones ionizantes

Entre los contaminantes secundarios, destacan aquellos generados por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. La contaminación fotoquímica es el producto de una serie de reacciones químicas complejas entre diversos constituyentes descargados a la atmósfera urbana. Cuando estos reaccionan bajo condiciones de luz solar brillante, generan una mezcla de contaminantes agresivos denominada smog fotoquímico***. (Cotton, 1995)***

Los contaminantes de aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio.

Los contaminantes criterios se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.

Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire.

En el nivel internacional el contaminante criterio fueron definidos en las enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos estableciéndose una nueva categoría de contaminantes llamados contaminantes peligrosos del aire (CPA). La ley enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire.

El Grupo Intergubernamental sobre Vigilancia del Medio, de las Naciones Unidas seleccionó los contaminantes prioritarios indicadores de la calidad del aire, de acuerdo con los siguientes criterios (Domenech, 1995):

a) La gravedad de los efectos reales posibles sobre la salud y el bienestar del hombre y sobre el clima, o sobre los ecosistemas terrestres o acuáticos teniendo en cuenta la estabilidad de los ecosistemas en cuestión.
b) La persistencia y resistencia a la degradación en el medio ambiente así como la acumulación en el hombre y las cadenas alimentarias.
c) La posibilidad de que la transformación química en los sistemas físicos y biológicos origine sustancias secundarias más tóxicas o más perjudiciales que el compuesto original.
d) Omnipresencia o movilidad.
e) Frecuencia y magnitud de la exposición.
f) El posible valor de la información obtenida para evaluar el estado del medio.
g) Posibilidad de utilizarlo, por su distribución generalizada, para realizar mediciones uniformes dentro de un programa mundial, regional o subregional.

Los contaminantes criterio y contaminantes peligrosos del aire se detallan a continuación.

- Monóxido de carbono (CO)

- Óxidos de azufre (SOx)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Ozono (O3)
- Plomo(Pb)
- Material particulado

Para cada contaminante criterio se han establecido guías y normas. Las guías son recomendaciones para los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos.

Las normas establecen las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes atmosféricos durante un período definido. Son los valores límite diseñados con un margen de protección ante los riesgos. La finalidad de las normas es proteger la salud humana (normas primarias) y proteger el bienestar del ser humano y los ecosistemas (normas secundarias). La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado guías sobre la calidad del aire y varios países de América Latina han establecido sus propias normas. En la tabla 2 se muestran los valores límites y tiempos promedio de muestreo de las normas.

Tabla # 2: Valores límite (en mg/m 3) y tiempos promedio de muestreo para las normas nacionales de calidad del aire de varios países de América y guías de la OMS.

Tiempo promedio de muestreo		Argentina	Bolivia	Brasil	Colombia	Chile	EU	México	Venezuela	OMS
O_3	1 h	195	236	160	170	160	235	216	240	
	8h						160			120
SO_2	24 h		365	365	400	365	365	341	80-365	125
	Mes	70								
	Aňo		80	80	100	80	80	79		50
NO_2	1 h	846	400	320		470		395		200
	24 h		150						100-300	

	Aňo			100	100	100	100			40
CO	1 h	57.000	30.000	40.000	50.000	40.000	40.000			30.000
	8 h	11.000	10.000	10.000	15.000	10.000	10.000	13.000	25000	10.000
PM_{10}	24 h			150		150	150	150		
	Aňo			50			50	50		
Plomo	24 h								1.5 – 2.0	
	Aňo									0.5

En la Tabla 3 que se presenta a continuación se detallan las concentraciones máximas admisibles vigentes en Cuba según la ***Norma Cubana NC 39/1999. (Calidad de Aire. Requisitos higiénico-sanitarios).***

Tabla # 3: Concentraciones máximas permisibles para zonas habitables en Cuba.

Contaminante	**Concentración Máxima Permisible (mg/m^3)**	
	Instantánea (20 min.)	**Promedio Diario (24 horas)**
Dióxido de Azufre	0.5	0.05
Partículas Sólidas Suspendidas (Hollín)	0.15	0.05
Monóxido de Carbono	5.00	3.00
Óxidos de Nitrógeno (NO_2)	0.085	0.04
Hidrocarburo (Benceno)	1.50	0,80
Ozono	0.16	0.03

Existen diferentes tipos de metodologías para la correlación de los niveles de contaminantes en la atmósfera con el valor adimensional que define el índice de calidad de aire. Generalmente estas escalas recogen cuatro niveles, el primero el cual refleja condiciones de permanencia de contaminantes muy por debajo de los

límites permisibles según los criterios de calidad, el segundo en el umbral de los límites establecidos, determinando medidas de prevención, el tercero por encima de concentraciones máximas admisibles sin llegar a valores extremos vinculados con criterios de episodios y niveles de daños significativos conllevando a la realización de acciones de saneamiento y el último define un estado de emergencia. ***(World Heath Organization, 1990).***

Dentro de un número indeterminados de índices se destacan como índices más conocidos el PSI (Pollutant Standard Index), actualmente definido como AQI (Air Quality Index)' [el] IQCA Índice de Calidad de Aire de Cataluña y el IMECA (Índice Metropolitano de Calidad de Aire) utilizados respectivamente en los Estados Unidos, Cataluña y México, los que abarcan los contaminantes (MP, SO_2, NO_2, CO y O_3). Se clasifican de tipo máximo o mínimo donde sólo se informa el subíndice del "contaminante critico" que es aquel con mayor incidencia en la calidad del aire. Los subíndice para cada contaminante se obtienen a partir de funciones lineales segmentadas que se basan en los puntos de quiebre para cada nivel de concentración de contaminante. ***(Índice Metropolitano de calidad del aire; Air Quality Index; Contaminación Atmosférica; How EPA calculates the AIr Quality Index).***

1.3 Características de los principales agentes contaminantes.

- **Partículas Atmosféricas**

El aire puede contener en suspensión muchas clases de partículas de origen natural o producidas por la actividad humana. En lo referente al origen de las partículas que constituyen los principales contaminantes de áreas urbanas, se considera que en un 50% provienen de industrias, tanto por procesos de producción como de manejo y transporte de sustancias pulverulentas, un 22 % proviene de la generación de la electricidad, un 13% del funcionamiento de calderas industriales, un 10% de la incineración de residuos sólidos y entre un 3% y un 5%, de los vehículos de motor ***(Fernández, 1997)***

El material particulado existente en el aire, corresponde a partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en la atmósfera[1] y cuyos tamaños oscilan entre 2×10^{-4} y 5×10^{2} μm. Estas partículas se encuentran ampliamente repartidas en la atmósfera, y forman una suspensión estable en el aire. La composición química de las partículas depende de su origen y, generalmente, constituyen una mezcla de substancias diversas, entre las cuales se puede mencionar: silicatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, óxidos, metales, carbón, alquitrán, resinas, polen, hongos, bacterias, etc. Muchas provienen de procesos naturales, y son transportadas debido a la acción del viento; por ejemplo, las cenizas derivadas de los incendios y erupciones volcánicas, la acción del viento sobre los océanos y la turbulencia del mar que genera aerosoles, el polvo de los suelos secos sin cobertura vegetal, el polen, etc. Además, las partículas son originadas por una gran gama de procesos tecnológicos, tales como en la combustión de madera y de combustibles fósiles, y en el procesamiento de material sólido.

Las partículas menores de 0,1 μm son, generalmente, iones y núcleos de condensación generados en los procesos de combustión, actividad volcánica, evaporación del agua de mar pulverizada, iones metálicos absorbidos en las gotas de agua de la atmósfera, etc. Estas constituyen un importante riesgo para la salud humana, ya que pueden entrar con facilidad al sistema pulmonar.

Las partículas sólidas entre 0,1 y 10 μm son aerosoles formados en procesos naturales y antropogénicos. Este material particulado se encuentra disperso en la atmósfera, y puede mantenerse suspendido por largo tiempo, debido a su baja velocidad de sedimentación. En las zonas urbanas, este tipo de material particulado puede tener un alto contenido de sulfatos, nitratos, hierro, plomo e hidrocarburos aromáticos.

Las partículas sólidas de mayor tamaño, entre 10 y 500 μm, tienen una velocidad de sedimentación mayor y permanecen menos tiempo en la atmósfera. Este polvo grueso contiene, principalmente: silicatos, sulfatos, cloruros, nitratos, hierro, calcio, aluminio, manganeso, plomo, zinc, magnesio y cobre. También se encuentra la presencia de compuestos orgánicos generados por la combustión incompleta del carbón y derivados del petróleo. Estas partículas son eliminadas por retención y arrastre con las gotas de lluvia. ***(Seaton, 1995)***

Muchas partículas son químicamente inertes, pero pueden adsorber substancias químicas activas presentes en la atmósfera. Sin embargo, existen partículas que son altamente corrosivas o tóxicas, debido a su propia naturaleza química o a la presencia de compuestos corrosivos o tóxicos adsorbidos en su superficie.
Las normativas ambientales establecen niveles máximos de exposición a material particulado de tamaño inferior a 10 μm (comúnmente denominado MP10), en Chile se establece un nivel máximo de 150 $\mu g/m^3$ para una exposición de 24 horas.

Existe poca información respecto al efecto del material particulado sobre la vegetación. Algunos investigadores han señalado que el polvo puede bloquear los poros de las hojas y disminuir la fotosíntesis. También se ha identificado varias substancias presentes en las partículas que causan daño a las plantas, tales como, por ejemplo, fluoruros y compuestos ácidos.

- **Compuestos de Azufre**

El dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3) 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 $S0_2$ atmosférico. El principal componente azufrado del carbón es la pirita (FeS_3), la que se oxida a Fe_2O_3 y SO_2 durante la combustión. Otras actividades industriales relevantes son las refinerías de petróleo y las fundiciones de minerales

sulfurados. Alrededor de un 93% de todas las emisiones de SO_2 generadas por el hombre provienen del hemisferio norte. ***(Anural, 1998)***

El SO_2 es un gas que no se inflama, no es explosivo y es incoloro. En el aire, el SO_2 se oxida parcialmente en SO_3 y, en presencia de humedades altas, se transforma en ácido sulfúrico y sus sales, por medio de procesos fotoquímicos atmosféricos: ***(Seoanez, 1997).***

$$SO_2 + ½\ O_2 \longrightarrow \qquad SO_3 + \cancel{H_2O} \rightarrow \qquad H_2SO_4$$

El anhídrido sulfuroso es un precursor de aerosoles secundarios (Ej. sulfatos), típicamente asociados a la fracción fina del material particulado. La atmósfera corrosiva, generada bajo dichas condiciones, afecta una gran variedad de materiales tales como el acero, zinc, cobre, y aluminio, formando sulfatos metálicos. Más aún, los materiales de construcción, estatuas, etc., que poseen componentes de carbonato de calcio (caliza, dolomita, mármol y mortero), son especialmente vulnerables al ataque de estas neblinas ácidas:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow \qquad CaSO_4 + CO_2 + H_2O$$

Finalmente, entre los compuestos de azufre de relevancia ambiental, se encuentran el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y los mercaptanos. El H_2S se produce a partir de la reacción del azufre con el hidrógeno, en procesos industriales o naturales. Además, se genera como subproducto en la biodegradación anaeróbica, en presencia de sulfatos. El H_2S tiene un fuerte olor a huevo podrido, que es detectado por el ser humano a muy bajos niveles de concentración (del orden de 6 $\mu g/m^3$). A concentraciones mayores es altamente tóxico y explosivo, por lo que sus emisiones deben mantenerse bajo estricto control. En presencia de oxígeno se oxida a SO_2.

Otros contaminantes de interés son los mercaptanos. Estos son compuestos orgánicos sulfurados de bajo peso molecular (CH_3S, C_2H_5S), de características odoríferas, y se generan tanto en procesos industriales (Ej. producción de pulpa sulfatada) como naturales (Ej. degradación anaeróbica de material proteico). A bajas concentraciones, no presentan efectos tóxicos y, eventualmente, se oxidan en presencia de oxígeno.

- **Óxidos de Nitrógeno (NO_X)**

Los tres óxidos de nitrógeno que se encuentran comúnmente en la atmósfera son: óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Estos se denominan genéricamente NO_X. El N_2O es un gas relativamente poco reactivo, y es un componente traza de la atmósfera "natural". El NO es un gas incoloro e inodoro; mientras que el NO_2 es café-rojizo (color de la atmósfera visto frecuentemente sobre áreas urbanas) y tiene un olor desagradable. ***(CeIsi, 1990).***

Los óxidos de nitrógeno son producidos directa e indirectamente por procesos de combustión a altas temperaturas. En dichos procesos el N_2 presente en el aire se oxida para formar principalmente NO, el que se transforma en NO_2 mediante reacciones fotoquímicas. En las zonas urbanas, las concentraciones máximas de NO_X coinciden con los volúmenes máximos de tráfico. Los gases de escape de los motores de automóviles son ricos en NO y pobres en NO_2. Generalmente, una pequeña fracción del total de NO_X está presente como NO_2. Durante la mezcla inicial del aire con los gases de escape calientes, se oxida parte del NO:

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2 .$$

Las reacciones químicas de los compuestos nitrogenados en la atmósfera son muy importantes en el contexto de los procesos de transformación que ocurren en ese medio. Aparte de las fuentes antropogénicas, los NO_X se forman a partir de las reacciones entre el N_2 y el O_2 del aire en la alta estratosfera.

El NO_X en la atmósfera, está sujeto a las siguientes reacciones fotoquímicas:

$$NO_2 + \text{luz solar} \longrightarrow NO + O$$
$$O + O_2 \longrightarrow O_3$$
$$O_3 + NO \longrightarrow NO_2 + O_2$$

Estas ecuaciones establecen un ciclo, que otorga concentraciones estacionarias de NO, NO_2 y O_3. Las constantes de velocidad de reacción son tales, que permiten alcanzar el estado estacionario en forma relativamente rápida.

Finalmente, gran parte del dióxido de nitrógeno atmosférico se convierte en ácido nítrico y sales de nitrato:

$$4NO_2 + O_2 + H_2O \longrightarrow 4HNO_3$$

Las sales de nitrato forman material particulado y/o sedimentan o son arrastradas por la lluvia.

La exposición a óxidos de nitrógeno puede irritar los pulmones, producir constricción bronquial y disminuir la resistencia ante infecciones respiratorias (ej. influenza), particularmente en individuos con enfermedades respiratorias pre-existentes, tales como asma. Estos efectos pueden ser mayores cuando existen otros compuestos alergénicos presentes en el aire. La OMS propone como nivel límite de NO_2 una concentración promedio anual de 40 $\mu g/m^3$ para exposiciones crónicas. En Chile, la norma de calidad de aire para NO_2 vigente al año 2000 establece un límite de 100 $\mu g/m^3$ como concentración media aritmética anual.

- **Oxidantes Fotoquímicos**

Cuando los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos se ponen en contacto, en presencia de luz solar, tiene lugar un conjunto de reacciones químicas complejas que generan contaminantes secundarios, conocidos como *smog fotoquímico.*

El ozono es uno de los oxidantes fotoquímicos más abundantes, y se genera por la reacción entre el O_2 y el oxígeno atómico (O), en presencia de un catalizador (M) que estabiliza la molécula de ozono:

$$O_2 + O + M \longrightarrow O_3 + M$$

El ozono se consume en la reacción con el NO para formar NO_2:

$$O_3 + NO \longrightarrow NO_2 + O_2$$

El ozono es un fotooxidante que se produce en la troposfera por efecto de la oxidación de monóxido de carbono e hidrocarburos en presencia de óxidos de nitrógeno y luz solar. De este modo, los hidrocarburos, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno constituyen precursores en la formación de ozono troposférico***. (Vide, 1991)***

Por su parte, el oxígeno atómico se produce debido a la acción de la luz solar sobre el dióxido de nitrógeno. El oxígeno atómico es altamente reactivo y su interacción con el agua genera radicales hidroxilos, los que juegan un papel fundamental en los complejos procesos químicos atmosféricos:

$$O + H_2O \longrightarrow 2\ HO\bullet$$

Los radicales hidroxilos reaccionan con los hidrocarburos (RH), para producir radicales libres de hidrocarburos (R•), en presencia de luz solar (a longitudes de onda menores de 0,38 μm):

NO_2 + luz solar $\longrightarrow$ NO + O (Reacción de iniciación)

$OH\bullet + RH \longrightarrow R\bullet + H_2O$

Estas substancias, a su vez, reaccionan con el NO original para formar más NO_2:

$R\bullet + O_2 + NO \longrightarrow RO\bullet + NO_2$

$RO\bullet + O_2 \longrightarrow HO_2\bullet + R'CHO$

$HO_2\bullet + NO \longrightarrow HO\bullet + NO_2$

El efecto neto de estas reacciones, es que una molécula de hidrocarburo convierte dos moléculas de NO a NO_2, y produce una molécula de aldehído. De hecho, se produce más NO_2 que aquel consumido en la reacción de disociación original, que proporciona el oxígeno atómico inicial, por lo que aumenta la concentración de NO_2 y disminuye el nivel de NO. ***(De Nevers N,1998)***

Tal como se menciona más adelante, el ozono también se genera en la estratosfera donde juega un papel fundamental para proteger la superficie terrestre de la radiación UV. Sin embargo, el ozono troposférico es nocivo para los animales y las plantas, debido a su gran capacidad oxidante que lo hace reaccionar con toda clase de substancias orgánicas. Los efectos típicos del ozono en la salud son cambios en la función pulmonar (Ej. exacerbación del asma, inflamaciones pulmonares y alteraciones estructurales del pulmón) que van precedidos por irritación de ojos y de las vías respiratorias en poblaciones sensibles. La OMS establece un límite de concentración de ozono de 120 $\mu g/m^3$ por un período máximo de 8 horas, para el cual los efectos agudos sobre la salud pública son bajos. En Chile, el límite vigente al año 2000 establece una concentración límite de 160 $\mu g/m^3$ para una exposición de 8 horas.

- **Óxidos de Carbono**

Los óxidos de carbono están constituidos por el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de carbono (CO). El CO_2 generalmente no se considera como contaminante atmosférico, debido a que es un componente natural de la atmósfera donde juega un importante papel en el efecto invernadero. Sin embargo, existe gran preocupación por las crecientes emisiones de este gas como producto de la combustión, lo que puede afectar el balance térmico terrestre.

Por su parte, el CO es un contaminante que proviene, principalmente, de la combustión incompleta de cualquier tipo de combustible. También es producido en grandes cantidades por muchas fuentes naturales: a partir de gases volcánicos, incendios forestales, oxidación del metano ambiental, disociación del CO_2 en la parte superior de la atmósfera, etc. Los automóviles con motores de combustión interna son una de las principales fuentes de emisión de monóxido de carbono en las zonas urbanas. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua, estufas y otros aparatos domésticos que queman combustible también son fuentes importantes de CO, tanto al aire libre como en ambientes interiores. ***(Senfeld, 1998)***

Los posibles mecanismos de eliminación del CO en la atmósfera, son las reacciones con radicales hidroxilos en la troposfera y estratosfera, que lo transforman en CO_2:

$$2\ HO\bullet + CO \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

La OMS propone concentraciones máximas de CO en el aire de 10 mg/m^3 para una exposición de 15 minutos, o 30 mg/m^3 para un periodo de 1 hora, o 10 mg/m^3 para 8 horas. En Chile, los límites vigentes al año 2000 establecen concentraciones de CO en el aire de 40 mg/m^3 y 10 mg/m^3 para periodos de 1 hora y 8 horas, respectivamente.

- **Hidrocarburos**

Además de los hidrocarburos de alto peso molecular, presentes en el material particulado, existe un amplio rango de compuestos orgánicos volátiles,

destacándose aquellos que poseen entre 1 y 4 átomos de carbono, ya que se encuentran en estado gaseoso, bajo condiciones ambientales normales. Su importancia ambiental radica en su participación en las reacciones de oxidación fotoquímica. En dichas reacciones, los hidrocarburos se transforman en radicales libres, generándose derivados aldehídos y otros compuestos oxidados, como por ejemplo: formaldehído, acroleína, acetaldehído y nitrato de peroxiacetilo.

Contaminantes peligrosos del aire (CPA)

Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud, las enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA), incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de etileno, cadmio y manganeso. La mayoría de los CPA son compuestos orgánicos volátiles.

Contaminantes Atmosféricos

La mayoría de los contaminantes atmosféricos pueden afectar directamente la salud de las personas, ya que ingresan al organismo a través del sistema respiratorio o de la piel. En otros casos, el contaminante es transportado desde el aire al suelo o a los cuerpos hídricos, donde posteriormente ingresa en la cadena trófica. El transporte de contaminantes desde la atmósfera hacia la superficie terrestre se produce por sedimentación de las partículas del aire y/o por absorción y arrastre de las lluvias. La Figura 1 muestra un esquema simplificado del transporte y destino de los contaminantes atmosféricos.

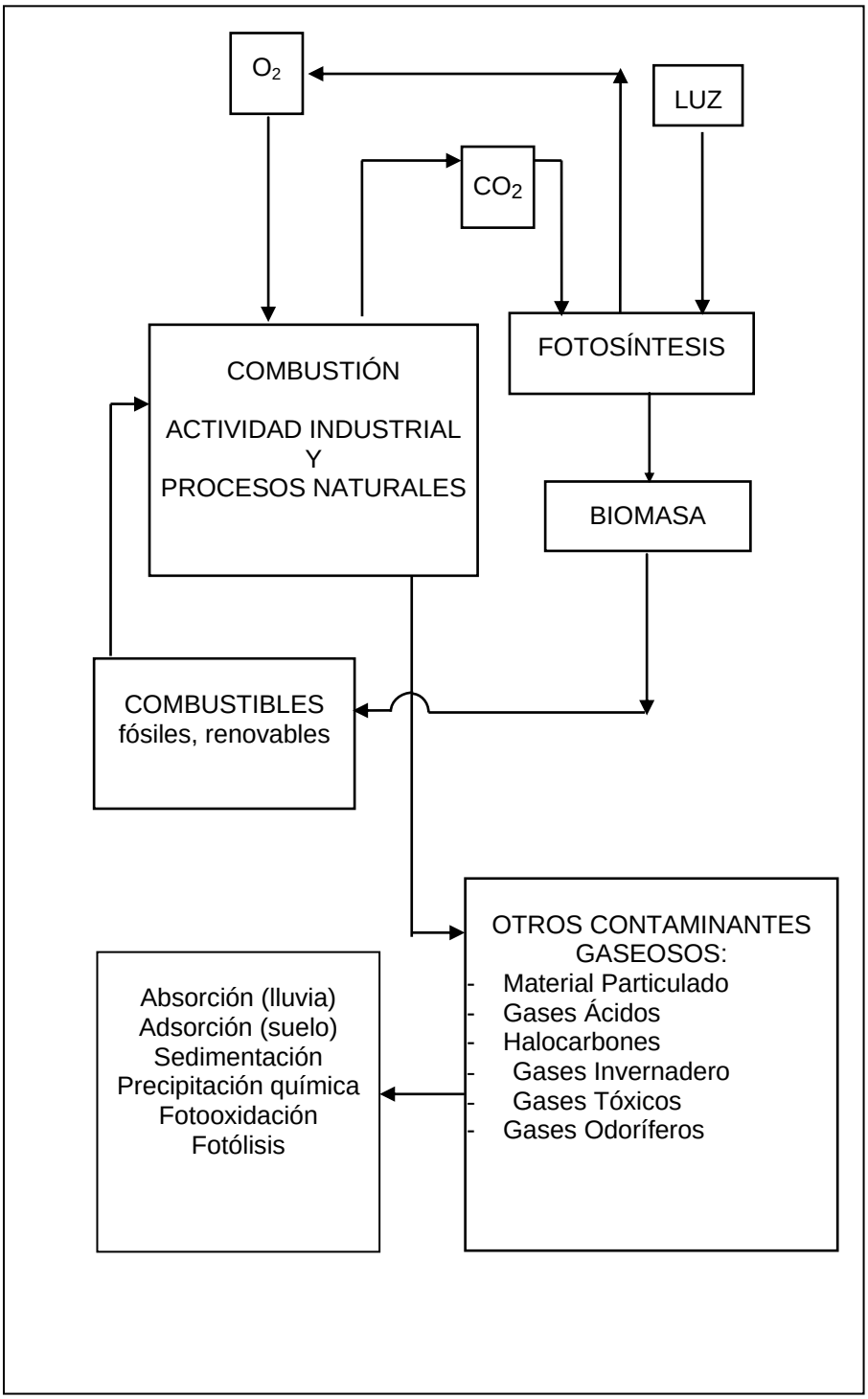


FIGURA # 1 : CICLO GENERATIVO / REGENERATIVO DE LOS CONTAMINANTES GASEOSOS

1.4 La meteorología y la atmósfera

La meteorología es la ciencia de la atmósfera. La atmósfera es el medio en el que se emiten los contaminantes del aire. Procesos atmosféricos tales como el movimiento del aire (viento) y el intercambio de calor (por ejemplo, la convección y la radiación) determinan el destino de los contaminantes a medida que pasan por las etapas de transporte, dispersión, transformación y remoción. La meteorología de la contaminación del aire es el estudio de cómo estos procesos atmosféricos afectan el destino de los contaminantes del aire ***(Ahrens, 1993)***

El conocimiento de la meteorología de la contaminación del aire sirve para manejar y controlar la descarga de contaminantes en el aire en exteriores. El control de la descarga de estos contaminantes ayuda a asegurar que las concentraciones de este tipo de sustancias en el ambiente cumplan con los estándares de calidad del aire en exteriores. Además, este conocimiento es esencial para entender el destino y transporte de las sustancias contaminantes del aire. ***(Williams, 1992)***

La composición de la atmósfera es una mezcla de gases que rodean la tierra y otras especies químicas en menor proporción. La propiedad física más importante de la atmósfera es la variación de la temperatura en altura a razón de 6ºC por Km. ascendido, cuando más se aparte este gradiente del normal va a provocar que los procesos de contaminación se agraven. La atmósfera contaminada será aquella en que se han modificado sus características respecto a las condiciones naturales de esta atmósfera. Un contaminante atmosférico será aquel que ha sido emanado en una concentración suficiente para crear unos efectos mensurables en los receptores (seres vivos, materiales y la propia atmósfera), como la ciencia avanza en la misma medida que se escribe esto, el número de contaminantes así como la concentración de éstos va variando a medida que se efectúan determinados estudios de los efectos que provocan sobre los receptores.

La atmósfera rodea la Tierra y rota con ella a medida que gira alrededor del sol, el aire seco está compuesto por aproximadamente 78 por ciento de nitrógeno, 21 por ciento de oxígeno y uno por ciento de argón, también existen gases traza como el dióxido de carbono, el neón y el helio. Si bien el aire contiene poco vapor de agua, Este absorbe seis veces más radiación que cualquier otro componente atmosférico, por lo cual es un elemento muy importante de la atmósfera. En la tabla 5 se muestra la composición química del aire seco.

Composición química del aire atmosférico seco	
Sustancia	**Concentración (ppm)**
Nitrógeno	780.900
Oxígeno	209.400
Argón	9.300
Dióxido de carbono	315
Neón	18
Helio	5,2
Metano	2,3
Criptón	0,5
Hidrógeno	0,5
Xenón	0,08
Dióxido de nitrógeno	0,02
Ozono	0,01-0,04

Tabla # 4: Composición química del aire atmosférico seco

Handbook of Air Pollution, (1968)

La atmósfera está dividida en cuatro capas: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la termosfera. La troposfera, la capa más baja, está compuesta por casi tres cuartos de la masa atmosférica y contiene casi todos los componentes

hídricos de la atmósfera (vapor, nubes y precipitación). La troposfera –donde se encuentran las masas de aire, los frentes y las tormentas– es la capa más agitada y la que determina el clima de la Tierra. La profundidad de la troposfera varía con la latitud y la estación. La parte superior de la troposfera (tropopausa) está aproximadamente a 16,5 Km. (54.000 pies) sobre el ecuador y a 8,5 Km. (28.000 pies) sobre los polos. Los cambios estacionales determinan el grosor de la troposfera y hacen que sea más gruesa en verano (cuando el aire es más cálido) que en invierno. La profundidad de la troposfera cambia constantemente debido a variaciones de la temperatura atmosférica. (***Moran, 1994).***

La atmósfera ha sido siempre un receptor de contaminantes pero también dispone de fuertes mecanismos para dispersar y eliminar la contaminación. La atmósfera no es una masa de gases en reposo sino una capa gaseosa fluida y turbulenta, que se mueve en el espacio y en el tiempo con intensidad variable ***(Rivas,2000).***

La meteorología se usa para predecir el impacto ambiental de una nueva fuente de contaminación del aire y para determinar el efecto de las modificaciones de las fuentes existentes en la calidad del aire.
Cuando se desarrollan condiciones meteorológicas que no conducen a la dispersión de las sustancias contaminantes, los organismos gubernamentales encargados de controlar la contaminación del aire deben actuar rápidamente para asegurar que los contaminantes no se concentren en niveles inaceptables en el aire que respiramos. Cuando estos niveles son excesivamente altos, se produce un caso de contaminación del aire y se deben reducir las emisiones a la atmósfera.

1.5 Transporte y transformación de los contaminantes

La atmósfera ejerce un papel activo en la contaminación a través de las condiciones meteorológicas, la atmósfera es la responsable del transporte y de los procesos de transformación.

El estudio de las condiciones meteorológicas nos da una idea de la evolución del proceso de contaminación y del posible control de la contaminación atmosférica, esto solo se puede determinar a priori, ya que una vez efectuada la contaminación es muy difícil actuar, por este motivo es tan importante la ubicación de las fuentes, ya que estudiando las condiciones meteorológicas y geográficas de una zona se podrá o no aprobar la ubicación de la fuente en esa zona. ***(Ebel, 1997***).
Las condiciones meteorológicas que más afectan al transporte y transformación de los contaminantes son:

1. Presión atmosférica
2. Temperatura
3. Grado de humedad
4. Radiación solara incidente y reflejada por la tierra
5. Viento (velocidad y dirección)

Las condiciones meteorológicas más importantes son la presión, los vientos y los fenómenos hidrometeorológicos. Los movimientos del aire en la atmósfera están determinados por:

1. La variación de temperatura en altura, que va a ser la responsable del movimiento de las capas de aire. El gradiente normal es la disminución de 6ºC por Km. ascendido, lo que agrava los procesos de contaminación son las isotermas de temperatura y la inversión de la temperatura, donde en lugar de disminuir la temperatura ésta aumenta por lo tanto no hay difusión en altura. La inversión puede ser:

- En superficie, son las capas de aire más cercanas al suelo, se forman como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el día y la noche.
- Las de subsidencia (1000-2000 m hasta 400 m), es un fenómeno que se extiende durante mucho tiempo y ocupa grandes superficies de terreno.

Agravan los problemas de contaminación ya que al estar en altura al haber mucha radiación ultravioleta se formarán muchos contaminantes secundarios.

1. El viento va a ser el responsable de los movimientos horizontales de los contaminantes, hay que tener en cuenta la velocidad del viento y su dirección.
2. Los fenómenos hidrometeorológicos vamos a verlos como nieblas y precipitaciones:
    - Las nieblas se producen cuando el grado de humedad en la atmósfera es muy elevado. Las principales reacciones se dan en invierno ya que en verano al aumentar la temperatura se pueden disipar. Este grado de humedad de las nieblas propicia determinados procesos de contaminación primarios para dar lugar a contaminantes secundarios. La presencia de las nieblas hace que varíen las características de la atmósfera, como es la visibilidad y el grado de penetración de la radiación solar (esta radiación mata microorganismos), lo que provoca que en épocas de niebla aumente la contaminación y las enfermedades.
    - La lluvia, nieve o granizo lo que hacen es disminuir la concentración de los contaminantes ya que provocan un efecto de disolución y arrastre de los contaminantes, es decir, lavan la atmósfera, pero como consecuencia de esto hay un mayor aumento de la contaminación del suelo.

Todos estos procesos de inmersión, vientos y fenómenos hidrometeorológicos lo que hacen es agravar o disminuir un proceso de contaminación. ***(Seoanez, 1997***).

Dependiendo de las condiciones meteorológicas va a provocar la aparición de los contaminantes secundarios, que son consecuencia de la transformación de los contaminantes primarios.
Es importante conocer el ciclo de los contaminantes en la atmósfera.

- Ciclo de los compuestos de azufre, el SO_2 en un tiempo menor de 3 días se oxidará, el SH2 mediante oxidación dará lugar al SO_2, con lo cual se incrementa la concentración de SO_2. Los tiempos de permanencia son bajos.
- Ciclo de los óxidos de nitrógeno, el NO_2 puede ser producido por medio natural o artificial, estos óxidos se oxidan para dar los PAN, también debemos considerar la entrada de NH_3.
- Ciclo de los óxidos de carbono, el origen viene del CH_4, tanto por fuente antropogénicas como naturales, para dar lugar al CO (que dará finalmente CO_2) y el propio CO_2. El principal sumidero del CO_2 van a ser las plantas.

- Aerosoles, lo más importante a considerar en los aerosoles son una serie de transformaciones que van a sufrir. El aerosol es la suspensión de microgotas o partículas en suspensión de determinadas sustancias, por lo que su concentración va a depender de su origen que conlleva unas propiedades físicas y una composición química. Hay que tener en cuenta que el aerosol también depende del espacio donde se formó y que con el tiempo cambiará, por la llamada dinámica del aerosol. Para eliminar el aerosol, al ir variando la composición química y el tamaño, lo que tenemos que hacer es disminuir la masa del aerosol, son procesos físicos, como sedimentación por gravedad, eliminación de parte del aerosol por choques con superficie y arrastre por la lluvia. El estudio de los aerosoles es complejo debido a que su composición química va variando al igual que las transformaciones que puede tener.

1.6 Toma de muestra de los contaminantes.

La etapa crucial para el análisis de los contaminantes es la toma de muestra, ya que una mala toma de muestra hace que el análisis no tenga validez, en toda toma de muestra es necesario hablar de tres puntos importantes:

1. Tiempo de toma de muestra, donde es necesario saber la duración de la toma de muestra y los intervalos de muestreo. En cuanto a la duración de la toma de muestra, nos indica la cantidad de toma de muestra que voy a tomar para después realizar el análisis, es importante conocer el límite de detección de la técnica de análisis a emplear, así a menor límite de detección menor es el tiempo de toma de muestra. Por lo tanto podemos decir que la duración de la toma de muestra es función del método analítico y de la concentración del analito. Los intervalos de muestreo nos permiten obtener una mayor o menor riqueza del contaminante en función del tiempo, en líneas generales se prefieren intervalos de muestreo cortos ya que me permiten tener una idea de la evolución de la concentración de los contaminantes.

2. Elección de los puntos de muestreo, para la elección de estos puntos, primero hay que diferenciar entre medidas de niveles de emisión y de inmisión, los criterios a seguir para elegir los puntos de muestreo son:

⇒ Nº de receptores afectados
⇒ Relieve
⇒ Posibles vientos dominantes
⇒ Puntos control

Para las medidas de inmisión, una vez elegido el sitio de toma de muestra debo situar el aparato a una altura media igual a la del hombre, pero por miedo a los destrozos se suele colocar a una altura aproximada de 3 m.

Para la medida de los niveles de emisión es necesario diferenciar:

⇒ De *fuentes móviles*, pondríamos el receptor de toma de muestra cerca del suelo, se suele hacer una emisión promedio.

⇒ De *fuentes estacionarias* (chimeneas), se realiza mediante una sonda isocinética (extrae muestra a la misma velocidad de emanación). No se hacen muestras promedio ya que es necesario saber que se está emanando cada chimenea.

3. Forma de llevar a cabo la toma de muestra, es el proceso en el cual a partir del aire contaminado obtengo una muestra soporte que después voy a analizar. Podemos distinguir dos tipos de toma de muestra:

⇒ Sistemas de toma de muestra pasivo, no se fuerza el paso del contaminante a través del colector, por lo que se elimina el sistema de bombeo. La recogida del contaminante debe ser por difusión o permeación hacia el colector, que será típicamente un sólido, que puede ser un adsorvente o algo que reaccione con el contaminante. El análisis se realiza sobre el propio dispositivo, son medidas cualitativas y semicuantitativas.

⇒ Sistemas de toma de muestra activo, es un sistema de toma de muestra en flujo (pasa el aire contaminado a través del dispositivo de toma de muestra). Consta de tres componentes:

- *Medidor de flujo*, tiene que ser exacto y debo saber la cantidad de aire que está pasando.
- *Colector*, es el dispositivo sobre el cual quedan fijados los contaminantes. Los colectores pueden recoger contaminantes gaseosos o particulados. Los parámetros fundamentales a controlar en un colector son la eficacia (cantidad de contaminante que entra que es retenida por el colector, es necesario que la eficaz sea lo más alta posible) y la posible o no alteración del contaminante. Los criterios para la elección del colector va a ser función de la naturaleza del contaminante y del método de análisis a realizar. Podemos diferenciar los colectores para

contaminantes gaseosos y particulados. Los colectores para contaminantes gaseosos:

◊ Basados en la absorción del contaminante en solución, nos interese que el volumen de la solución absorbente sea grande pero con cuidado ya que podemos solubilizar tanto el contaminante que hagamos que no podamos detectarlo, para fijarlo puede hacerse mediante reacción química o solubilización directa del contaminante en el líquido elegido. Para aumentar la eficacia del colector es necesario aumentar la máximo la superficie de contacto, para aumentar esta superficie de contacto se pueden hacer sistemas de burbujeo (depende del tamaño y nº de burbujas) y sistemas de pericirculación. Se distinguen dos tipos de colectores de absorción:

1. Borboteadores, la corriente de aire contaminado que entra en el dispositivo choca contra la base del borboteador produciendo burbujas que dan lugar al intercambio entre la sustancia contaminante y la solución absorbente.
2. Burbujeadores de aire filtrado, se obtiene un nº de partículas muy pequeño al atravesar la fibra que hay en su base. El inconveniente es que se limpia mal y el paso del contaminante es tan forzado que puede sufrir transformaciones.

◊ Adsorción en sólidos finamente divididos, estos sólidos son de tamaño muy pequeño, hay una interacción física entre el contaminante gaseoso y el sólido sobre el que va a quedar adsorbido. La adsorción está favorecida, en general, cuanto menor es la temperatura y mayor es la presión. La cantidad de gas que va a quedar retenido va a ser función de la superficie de adsorción que se tenga, por lo que a medida que aumenta el tiempo de toma de muestra la eficacia disminuye ya que van quedando menos puntos de adsorción, por lo que los factores a controlar son la cantidad de adsorbente, tamaño de las partículas, afinidad del sólido hacia el contaminante, temperatura y velocidad de flujo. Los tipos de adsorbentes que se suelen usar son gel de sílice o carbón, son los denominados adsorbentes universales, ya que son capaces de recoger una gran cantidad de

contaminantes, hay que tener en cuenta que solo se pueden trabajar con corrientes de aire seco porque las moléculas de agua reaccionan con el relleno, por lo que debemos pasar la corriente de aire por un desecador, otro inconveniente es que pierde eficacia con los contaminantes orgánicos de bajo peso molecular.

Para separar el contaminante del sólido se puede hacer por desorción térmica, arrastre en corriente de vapor de agua o variación de volumen, en estas dos últimas se va recoger como una muestra líquida es necesario controlar la variación de volumen ya que si esta es muy elevada podría no cuantificarse la muestra.

◊ Congelación del contaminante gaseoso (trampas frías), el contaminante se congela de forma que se va reteniendo en fracciones separadas a partir de la muestra del producto. El inconveniente es que el aire llegue seco. Después de recogido los contaminantes, para ello se eleva la temperatura y se recoge el contaminante como gas y posterior cromatografía.

◊ Toma de un volumen determinado, no se separan contaminantes, se toma el aire tal cual, tiene el inconveniente de la imposibilidad de concentrar los contaminantes. Los recipientes pueden ser rígidos (vidrio) o flexibles (plásticos), éstos deben de ser inertes, no reaccionar con los contaminantes y no dar problemas de permeabilidad ni de adsorción.

Los sistemas de recogida de contaminantes particulados, vamos a distinguir según su diámetro, para <10um son las suspendidas en el aerosol y para >10um son las partículas sedimentables. Los sistemas de toma de muestra de partículas están basados en tres mecanismos:

◊ Sistemas basados en sedimentación por gravedad (diámetro>10um), son tanto partículas sedimentables más aquellas que son arrastradas por la lluvia. Es un dispositivo de toma de muestra pasivo. El tiempo de muestreo es de 30 días, para

evitar perder partículas la altura debe de ser el doble que la anchura. Nos de mg/m2día.

◊ Sistemas basados en filtración, a diferencia del anterior es un sistema activo. Son partículas con diámetro < 10 um. Los factores a considerar en un sistema de filtración son las características de las partículas (naturaleza, diámetro), características de los filtros (composición, diámetro de poro, resistencia química y térmica y capacidad). Según sean alas características de las partículas elegimos el tipo de filtro para que la compatibilidad sea máxima. En todo sistema de filtración hay dispositivos de filtración y los filtros propiamente dichos. Los materiales de filtración son:

1. Filtros de papel, tienen alta capacidad, poco resistente a la presión (se debe usar pequeñas velocidades de flujo y altos tiempos de toma de muestra), recoge partículas medias y grandes. Su mayor ventaja es que es fácil su destrucción para el posterior análisis de las partículas inorgánicas.
2. Filtros de membrana, admiten altas velocidades de flujo por lo que sus tiempos de muestreo son menores, recoge partículas de 0.2 um de diámetro.
3. Filtros de fibra de vidrio, son los que admiten velocidades de flujo más altas, tienen también las mayores capacidades, son las más adecuadas para el estudio del aerosol orgánico.

Muestradores de alto volumen, se puede trabajar con flujos altos (<1.7 m3/min), cuando incorporamos filtro de fibra de vidrio se pueden recoger partículas de 0.3-100 um. Están diseñados para recoger y proporcionar datos cada 24 h, por lo que se va a obtener mg/m3día. Aunque funciona las 24h es un muestreador intermitente, ya que trabaja 24 h lo recogemos y volvemos a contar 24 h.

1. Muestradores de cinta de papel, el material filtrante es de papel, es un sistema de muestreo continuo que nos proporciona datos en intervalos de 1/2 h-2 h. Son adecuados para medir niveles de inmisión cuando solo quiero conocer la masa de

las partículas y no el análisis de estas partículas. Según sea la oscuridad de la mancha en el papel correlaciona con la densidad de las partículas.
2. Dispositivos personales de filtrado, donde el tiempo de muestreo son 8h.

◊ Sistemas de muestradores de impacto, la recogida de las partículas se base en el choque inelástico de partículas sobre superficie plana. Tenemos:

1. Borboteadores de impacto, se usan para recoger partículas cuando después van a ser recogidas en microscopio.
2. Impactadores de cascada, se basan en la recogida en impacto sobre una superficie pero en cascada por lo que podemos obtener distintas partículas según su diámetro.

1.7 Métodos de análisis de los contaminantes

- ***<u>Contaminantes gaseosos</u>***

⇒ **SOx**

1. *Métodos volumétricos* (van a ser métodos manuales):

1.1 La volumetría ácido-base (se usa para realizar medidas de inmisión):

SOx + H2O2------> H2SO4

Se valora este H_2SO_4 con NaO.

1.2 La volumetría de precipitación (se usa para medidas de emisión). También se va a formar H_2SO_4 , que se le hace reaccionar con Ba formándose $BaSO_4$, si la cantidad de $BaSO_4$ formada es muy pequeña se hace una turbimetría, a la mezcla

le añado gelatina para que el precipitado se mantenga en suspensión estable, al interaccionar con radiación de longitud de onda adecuada obtengo una señal que corresponde con la concentración de precipitado que tengo.

2. *Métodos instrumentales*:

2.1 Método coulombimétrico, se hace pasar a través de un analizador. El SO_2 reacciona con el I_2 para da lugar a I-, por lo que se va a dar una variación de potencial. Es un analizador automático y sirve para hacer medidas de inmisión. Al no ser selectivo una sustancia que entre con un potencial adecuado puedan dar interferencias, otro inconveniente es que el tiempo de respuesta es muy lento.

2.2 Método de espectrometría de masas, el colector es de adsorción, el absorbente va a ser tamiz molecular, después se hace una desorción térmica y se hace pasar a través del espectrofotómetro de masas.

2.3 Método de fotometría de llama, no existe ningún colector, si contiene óxidos de azufre se van a excitar en la llama y se produce una emisión a una determinada longitud de onda característica de los compuestos de azufre. La intensidad de emisión va a ser proporcional a la concentración de SOx . Se usa para medir medidas de emisión. El problema es que no es selectivo y obtendría la cantidad de óxidos totales (SO_3, SO_4,...) y yo solo quiero los del SO_2, para obtener ese SO_2 lo que hago es pasar el aire por un cromatógrafo de gases separando los distintos óxidos de azufre y con un detector fotométrico de llama. Es un analizador automático continuo y se usa para realizar medidas de inmisión.

2.4 Método colorimétrico, es un método que se puede usar de forma manual o automático. Tenemos un colector que contiene una mezcla de ClK y $HgCl_2$, al entrar en contacto con el SO_2 se forma un compuesto muy estable de SO_3, se hace reaccionar con formaldehído obteniéndose un compuesto de color púrpura,

que se puede medir en un cromatógrafo, donde la absorbancia es proporcional a la concentración.

2.5 Método conductimétrico, se usa el mismo colector que para la valoraciones (contiene agua), por lo que al entrar en contacto con el SO_2 se va a formar SO_4. En el colector estoy haciendo una medida de conductividad, por lo tanto al aumentar el contenido de SO_4 y ser un ión la conductividad va a aumentar. Es un método poco selectivo.

2.6 Método de fluorescencia UV, cuando el aire contiene SO_2 la irradiamos con una determinada longitud de onda por lo que se activa y posteriormente se desactiva desprendiéndose una longitud de onda. Es un analizador automático en continuo, donde la intensidad de la radiación es proporcional a la concentración de SO_2. Se usa para medidas de inmisión.

⇒ **H_2S**

1. Método colorimétrico, tenemos un colector con una solución Cd (2+) a pH=7 para dar lugar a SCd, lo ponemos en medio ácido para disolver el precipitado obteniendo H_2S que con NNdietilfenilendiamina más $FeCl_3$ dando lugar a azul de metileno que está cargado positivamente, si le añadimos un anión voluminoso formamos un par iónico que puede ser extraído en disolventes clorados de baja polaridad ($CHCl_3$, Cl_2CH_2). Como tenemos una sustancia coloreada, hacemos una determinación espectrofotométrica a una longitud de onda de 670 nm donde la absorbancia es proporcional a la concentración de H_2S.

2. Absorción en UV, el colector es el mismo que el anterior siguiéndose los mismos pasos hasta que obtenemos el H_2S, esta corriente gaseosa la conducimos mediante N_2 a un espectro, donde la irradiamos una longitud de onda de 202 nm,

donde la absorbancia es proporcional al H_2S. Es automático y sirve para realizar medidas de emisión y de inmisión.

⇒ **CO**

1. Método de absorción, tiene un colector con una solución de Cu_2Cl_2. Si el aire tiene CO en contacto con el colector se forma un aducto produciéndose un ligero aumento del volumen de la solución colectora, midiendo esa variación de volumen sabemos la concentración de CO. Se usa para realizar medidas de emisión, ya que es poco sensible, la ventaja es que es muy rápido.

2. Método calorimétrico, se basa en el hecho de que el CO es un reductor, vamos a usar un colector que tiene una solución de Ag-Ácido p-sulfoaminobenzoico que en contacto con el aire si tiene CO va a dar un coloide de Ag, midiendo la absorbancia de este coloide obtenemos la concentración de CO.

3. Método de IR no dispersivos, se debe a que el CO va a absorber radiación IR a una determinada longitud de onda.

4. Método de CG-FID, se basa en la reducción del CO hasta CH_4. Obtenemos una medida donde el área del pico es proporcional a la concentración de CH_4, que al venir de la reducción de CO también es proporcional a éste. El problema que puede surgir es si el aire tiene CH_4, obteniéndose por tanto una medida errónea, lo que se hace es realizar una CG-FID del aire como tal, sin pasar por el reductor obteniéndose la medida del CH_4, para posteriormente restar al total obteniéndose la concentración del CO. Es un analizador automático en continuo.

⇒ **NOx**

1. Método colorimétrico (método de Griess- Saltzman), está basado en una reacción con el NO_2, tenemos un colector que es un borboteador, borboteamos ac.

sulfanílico + alfanaftaetilendiamina que en contacto con el NO_2 da lugar a una sal de diazonio (color púrpura), la cual absorbe a una determinada longitud de onda, donde la absorbancia es proporcional a la concentración de NO_2.

2. Método colorimétrico (absorción selectiva), nos va a permitir conocer la concentración de NO y de NO_2 en una sola muestra. Lo que vamos a hacer es pasar el aire a través de un absorbente que contiene trietanolamina queda fijado NO_2, sobre el cual realizamos el método de Griess-Saltzman, en este adsorbente no va a quedar fijado el NO, este NO lo oxidamos a NO_2 que volvemos a adsorberlo con trietanolamina y conocemos su concentración con el método de Griess-Saltzman, donde la concentración de NO_2 que obtenemos es equivalente a la de NO.

3. Método de quimiluminiscencia, está basado en una reacción específica de NO. El NO lo hacemos reaccionar con O_3 para dar NO_2 excitado, que posteriormente emitirá una longitud de onda, donde la intensidad será proporcional a la concentración de NO. También podríamos medir la concentración de NO_2, ya que se toma una primera muestra y realizo la primera medida, después se toma una segunda muestra donde se reduce el NO_2 a NO y hago la segunda medida, por diferencia entre ambos obtengo la concentración de NO_2.

$\Rightarrow$ **O_3**

1. Método colorimétrico, tenemos un colector con una disolución de I entre pH 6 y 8, que al entrar en contacto con el aire si contiene O_3 se nos formará I_2, donde con la formación de I_2 medimos su absorbancia que es proporcional al I_2 y por tanto al ozono. El inconveniente es que el I_2 es muy volátil y se puede perder por lo que debemos colocar colectores en serie, también debemos tener en cuenta que al ser una reacción redox cualquier oxidante presente en el aire puede reaccionar con el I dándome interferencias, con esto podemos decir que es un técnica poco selectiva.

2. Método coulombimétrico, tenemos el mismo colector anterior y en vez de medir la absorbancia del I_2 medimos la intensidad de corriente del I_2 debido a la reacción redox, los inconvenientes son iguales que los anteriores.

3. Método de la quimiluminiscencia, es automático y en continuo. Se basa en la reacción entre O_3 y compuesto que tengan dobles enlaces, normalmente etileno, dándonos el etileno excitado, posteriormente se desactiva emitiendo a una determinada longitud de onda característica (450 nm), donde la intensidad es proporcional a la concentración de O_3. Es una reacción muy selectiva y no se usa ningún tipo de colectores.

- ***Compuestos orgánicos del aerosol***

Estos contaminantes orgánicos se pueden encontrar como gases o como microgotas. Si es gas los colectores son de absorción y de adsorción y si son microgotas se usan sistemas de filtración. Para recoger compuestos orgánicos en sistemas de filtro necesitamos un filtro de fibra de vidrio y de alto volumen ya que son lo que poseen menos interferencias. Para separar los compuestos orgánicos lo hacemos mediante extracción con disolventes orgánicos haciendo que la extracción sea más o menos selectiva. Vamos a ver como determinar los compuestos orgánicos del aerosol más característicos:

1. Hidrocarburos poliaromáticos, aparecen como proceso de contaminación de fuentes móviles y estacionarias. Al quedar retenidos en el filtro vamos a extraerlos mediante benceno o ciclohexano teniendo una solución orgánica sobre la cual realizo una cromatografía en capa fina. Tomo cada parte del folio de cromatografía (mezcla de adsorberte y compuesto orgánico), lo diluyo en éter y posteriormente evaporo el disolvente. En residuo se añade $H2SO_4$ (concentrado), sobre esta disolución ácida se hace una determinación mediante fluorescencia molecular, lo

que conseguimos es excitar la molécula a una determinada longitud de onda y vuelve al estado fundamental emitiendo una longitud de onda distinta a la anterior, midiendo la intensidad a esa longitud de onda es proporcional a la concentración de los hidrocarburos poliaromáticos. Es un método muy sensible y selectivo. Es un método manual.

2. Aldehídos, aparecen en la atmósfera como producto de la contaminación del smog fotoquímico. Podemos hacer:

2.1 Para determinar la cantidad de aldehídos totales, lo que hacemos es tener un borboteador con MBTH que al entrar en contacto con el aire que tiene aldehídos éstos van a quedar fijados sobre el MBTH. Con los aldehídos fijados se le añade ac. sulfanílico y $Fecl_3$, que si tenemos aldehídos dará color azul, mediante una determinación espectrofotométrica obtenemos la concentración de aldehídos.

2.2 Para determinar la concentración de formaldehído, se utiliza un borboteador con ac. cromotrópico (reactivo selectivo de formaldehído) y H_2SO_4 (concentrado), calentamos 10 min. dándonos una sustancia de color púrpura, sobre la cual hacemos una determinación espectrofotométrica donde la absorbancia es proporcional a la concentración de formaldehído. Es un método no automático.

3. PAN, dan reacciones similares a las que daría el O_3, por lo que los PAN provocan interferencia en la determinación de O_3. Se va a usar un método más selectivo que es la cromatografía de gases con detector de captura eléctrica.
4. Hidrocarburos totales, se determina mediante cromatografía de gases con un detector de ionización de llama. Si Ud. quisiera saber la cantidad de metano, se hace una adsorción de los hidrocarburos más pesados y posteriormente cromatografía de gases con un detector de ionización de llama obteniéndose la concentración de metano.

5. Dioxinas, son altamente tóxicas y son específicos de la incineración de residuos, se forman cuando se incineran sustancias que tengan cloro y pequeñas cantidades de metales. Son emanados a la atmósfera en concentración pequeña y por tanto su concentración es pequeña. Si tenemos que hacer medidas de inmisión lo más complicado es la toma de muestra, se deben seguir los siguientes pasos:

- Recogemos las dioxinas sobre un adsorbente sólido que debe ser muy efectivo pero es poco selectivo.
- Intento tener solo dioxinas para lo cual realizo una desorción con tolueno obteniendo dioxina más algún resto de contaminante orgánico.
- Se realiza una limpieza de extractos utilizando columna, para lo cual se pasa la solución de tolueno por una columna que tiene sílice donde van a quedar retenidas las dioxinas.

Cuando tenemos las dioxinas se analizan con una cromatografía de gases con un detector de espectrometría de masas.

Si lo queremos recoger en la fuente, es decir medir los niveles de emisión, la única diferencia está en la toma de muestra, donde utilizamos una sonda isocinética, conectando la sonda isocinética a un sistema selectivo de recogida de dioxinas, para ello usamos un tren de absorción en disolución y finalmente un a adsorción en C activo. Después recuperamos las dioxinas (desde la disolución y desde el sólido), limpiamos los extractos y realizamos una cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas.

- ***Análisis de partículas***

Para realizar un análisis de partículas se pueden utilizar métodos manuales o automáticos:

1. Los manuales, podemos diferenciar polvo sedimentable y polvo suspendido en el aerosol, utilizo un colector basado en sedimentación por gravedad, donde se recoge el contenido del colector, se seca y se pesa obteniendo la masa de partícula sedimentable. Si queremos diferenciar entre polvo sedimentable soluble e insoluble, lo que hacemos es antes de secarlo suspenderlo en 1 litro de agua y se filtra, el residuo se seca y se obtiene el polvo sedimentable insoluble, la resta con el polvo total obtengo el polvo sedimentable soluble.
2. Los analizadores continuos de partículas, tienen la ventaja con respecto al anterior de que son automáticos, se pueden diferenciar dos sistemas:

2.1 Nefelómetro integrador, está basado en los fenómenos de dispersión de la luz con las partículas, esta dispersión es más efectiva cuanto más se aproxime el diámetro de la partícula con la longitud de onda incidente, por lo que podemos medir que la intensidad es proporcional a la cantidad de partículas.
2.2 Analizador de radiación B, el aire contaminado atraviesa una cinta de papel de filtro con un tiempo determinado, así quedarán fijados las partículas sobre el papel y se le incide la radiación B, llegará una determinada intensidad, así esta intensidad será proporcional a la cantidad de las partículas.

Para el análisis de las partículas podemos realizar un análisis cualitativo y un análisis cuantitativo, para realizar un análisis cualitativo se puede hace mediante métodos físicos y químicos:

- Métodos físicos:

- Análisis mediante microscopio, observamos bajo microscopio las partículas que hemos obtenido del aire, se puede usar para partículas sedimentables y no sedimentables, la única diferencia es la toma de muestra.

Para las partículas sedimentables se extienden y se miran al microscopio. Para las partículas no sedimentables podemos tomar dos métodos de toma de muestra:

- Borboteadores de impacto, se saca el disco y se mira al microscopio.
- Sistema de filtración, como es opaco, no puede verse al microscopio por lo que se introduce en un disolvente para que el filtro se vuelva transparente, observando las partículas tanto las que están encima como las que se encuentran retenidas en los poros.

Cuando se buscan partículas con características especiales, como son las partículas cristalinas, se usan los siguientes métodos:

- Métodos basados en índice de refracción
- Métodos de luz polarizada
- Metodo de rayos X, al incidir sobre el cristal va a dar una imagen de difracción, cada cristal posee una imagen distinta. Nos puede servir también para análisis cuantitativo utilizando patrones adecuados.

- Métodos químicos, las reacciones químicas que se usan debe de ser sensibles y selectivas. Las partículas pueden ser sedimentables, se toma una pequeña porción y se le añaden determinados reactivos para obtener colores, precipitados,..., y partículas no sedimentables, lo más interesante es obtenerla sobre borboteadores de impacto y hacemos distintas reacciones con distintos reactivos. Estos métodos químicos se usan para buscar partículas muy concretas.

Para realizar un análisis cuantitativo, se hacen sobre filtros de vidrio que son de alto volumen, donde vamos tomando pequeñas porciones para los distintos análisis:

- Análisis de niebla ácida, vamos a realizar una volumetría ácido-base, el filtro debe estar muy bien lavado para asegurarnos de que esté exento de ácido. Una vez tomada la muestra sobre el filtro se suspende en agua, valorando esta con NaOH.

- Análisis de sulfatos, se hace una reacción con Bario, donde daría $BaSO_4$, no podemos realizar una gravimetría debido a que lo obtenido es muy poco, lo que vamos a hacer es un método óptico, basado en la interacción de la luz con las partículas.

- Análisis de partículas con haluros, el sistema de toma de muestra puede ser de dos tipos:

1. Sistemas de filtración, se usan para obtener partículas bastante insolubles. Se hace una extracción del filtro con agua caliente obteniendo una solución sobre la cual realizaríamos el análisis.
2. Borboteradores, se usan para obtener partículas solubles en agua. Aquí se realiza el análisis sobre la propia solución.

Para el análisis de cloruros, se realiza mediante métodos volumétricos (usamos Ag), podemos usar el método de Mohr (usa CrO_4 como indicador) y el método de Volhard (se valora un exceso de Ag en presencia de sulfocianuro de hierro como indicador).

Para el análisis de fluoruro, hay que tener una precaución en la toma de muestra, debido a que el F ataca el vidrio. Podemos realizar un método espectrofotométrico, mido la interferencia del F en una sustancia coloreada (Zr-SPANDS ó Zr-Ericrocianina), disminuye la absorbancia de esa sustancia por la presencia del F.

Para el análisis de Cl y F conjuntamente se usa un electrodo selectivo.

Análisis de metales, para recoger los metales vamos a usar muestradores de alto volumen con filtros de fibra de vidrio, donde van a quedar fijados como partículas sólidas. Para solubilizar estas partículas, se toma el filtro y se añade HNO3 y con

Q de reflujo (6-8 h), después de solubilizado se evapora el disolvente y se mide por espectroscopia de absorción atómica, donde un átomo de un metal en estado atómico absorbe a una determinada longitud de onda, característica de cada metal, por lo que la absorbancia es proporcional a la concentración del metal. La complicación es conseguir la energía de atomización que es muy elevada, se puede conseguir por llama (2000ºC) y calentamiento por energía electrotérmica, donde se consigue mayor sensibilidad.

1.9 Efectos de los contaminantes atmosféricos

El efecto de los contaminantes atmosféricos será función de la toxicidad de la sustancia y del grado de exposición. Hay dos tipos de toxicidad:

-Inherente, cuando la sustancia por si sólo puede producir daño.
-Generada o potencial, cuando la sustancia original no tiene capacidad de producir daño pero si al interaccionar con el medio o con el receptor.

El grado de exposición va a ser función de la concentración de la sustancia tóxica, el tiempo de exposición y el tiempo meteorológico. La vía de exposición puede ser por ingestión, inhalación o contacto.

Los efectos pueden ser de distinto tipo:

- Efectos agudos, una sustancia tóxica produce un efecto agudo cuando se detectan en una sola dosis. Son sustancias contaminantes muy fuertes.
- Efectos crónicos, se producen después de un tiempo prolongado de exposición, son característicos de sustancias tóxicas con alto carácter acumulativo y típico d exposición laboral.
- Efectos reversibles, cuando hay una recuperación total o parcial después de haber estado en contacto con la sustancia tóxica. Si una sustancia produce un

efecto reversible los niveles permitidos son más altos porque para tiempos cortos hay una recuperación siempre que la concentración del contaminante no sea letal.

- Efectos irreversibles, no hay posible recuperación.

El efecto final va a ser función de la dosis y del grado de acumulación. Para hacer una escala de toxicidad tenemos que tener en cuenta la toxicidad de esta sustancia, para medir la toxicidad se utiliza el valor del LD50 (dosis letal media), a mayor valor de LD50 poco tóxicas y viceversa. Existen otros límites que son los límites de tolerancia máxima que están relacionados con la concentración del contaminante y el tiempo de exposición al que puede estar expuesto el sujeto para que no se produzcan los efectos.

1.91 Efectos sobre la propia atmósfera

1 .Visibilidad (se da en un pequeño espacio de tiempo y a pequeña escala)

La visibilidad es la capacidad que tenemos de observar un objeto sobre un fondo, va a ser función de las condiciones meteorológicas, de la iluminación y de las características del observador.

Esta reducción de la visibilidad va a ser consecuencia de la interacción de los contaminantes con la luz, las interacciones más importantes son los procesos de absorción y los procesos de dispersión, este último proceso es el que produce una mayor disminución de la visibilidad.

2. Lluvia ácida (se da en corto-medio espacio de tiempo y a pequeña escala)

No solo se refiere a que las gotas de lluvia lleven un pH más ácido, es la denominada deposición húmeda, sino también de la deposición seca que son las partículas ácidas que se depositan.

El pH natural de la lluvia oscila entre 5 y 5,7 (ya que la lluvia atraviesa la atmósfera que tiene CO2 que es un gas ácido). Consideramos que la lluvia es ácida cuando su pH es menor de 5.

3. Destrucción del ozono estratosférico

Se da a largo tiempo, ya que necesita un tiempo para llegar a la estratosfera, por lo que deben ser contaminantes que necesitan no transformarse en un largo espacio de tiempo.

4. Efecto invernadero

Los principales gases que producen el efecto invernadero son el CO2, CH4, CFC,..., son todas aquellas moléculas que son capaces de absorber IR en la longitud de onda remitida por la tierra, al haber esa absorción de la radiación esta no sale a la atmósfera y se produce el sobrecalentamiento de la tierra. ***(Erickson ,1992)***

- **Efectos sobre los materiales**

Se afectan a todos aquellos materiales que están en contacto con la atmósfera, se aplica sobre todo a las construcciones (especialmente los de piedra), se pueden dar dos efectos (van a depender del tipo de material y del tipo de contaminante) que son ensuciar y el deterioro de los materiales.

El patrimonio artístico está construido principalmente:

- Granito, formadas por distintas sustancias, unas más blandas que se destrozan antes y la parte más dura acabará desprendiéndose.

- Calizas: $CaCO_3 + SO_2$ ------> $CaSO_4$

El $CaSO_4$ tiene una resistencia mecánica menor y por tanto su deterioro es mayor.

Los distintos materiales que podemos encontrar en la ciudad:

- Metales, si reaccionan con sustancias que tengan acidez van a dar sales solubles.

- Pinturas, al reaccionar con contaminantes se va modificando la base de la pintura y se produce el cambio de los colores.

- Productos sintéticos, son atacados por el O3 produciendo un endurecimiento de los materiales hechos de caucho.

- Efectos sobre los seres vivos

1.9.2 Efecto de los contaminantes sobre los vegetales

Hay ciertas sustancias denominadas fitotóxicas, como el SO_2, O_3, Pb, NOx, que producen unos síntomas visibles en los vegetales, que también van a depender de la exposición y de la concentración del contaminante.

El bioindicador es un ser vivo que manifieste una respuesta clara frente a una determinada sustancia y a una determinada concentración de esa sustancia. Existen algunos vegetales que son buenos bioindicadores de la contaminación atmosférica, como los musgos y los líquenes, no por los efectos que sobre ellos se producen sino porque son bioacumuladores (perfecta correlación entre la concentración en la atmósfera y concentración en el ser vivo). Un biosensor es un dispositivo analítico que se incorpora o bien a un ser vivo o un componente de un ser vivo, de tal forma que la respuesta de ese censor es función de lo que hemos

incorporado al dispositivo analítico. Por lo tanto un biosensor es diferente a un bioindicador.

Concentraciones elevadas de SO_2 y largos tiempos de exposición pueden causar daños severos a las plantas. Los daños agudos parecen estar causados por la absorción rápida del SO_2. El tejido dañado de la planta se caracteriza, primeramente, por la apariencia seca y blanqueada, seguida por una decoloración café-rojiza. Los manzanos, perales, pinos y otros árboles son especialmente susceptibles al daño crónico; como también lo son la mayoría de las plantas usadas en la horticultura, la alfalfa, la cebada y el algodón.

1.93 Efecto de los contaminantes sobre la salud.

La contaminación atmosférica reviste gran importancia, debido a su enorme impacto directo sobre la salud humana. Cada persona adulta respira 15-28 m^3/día de aire y posee una superficie alveolar en sus pulmones de alrededor de 65 m^2. La mayoría de los contaminantes presentes en el aire puede encontrar facilmente su camino hacia la sangre, debido a que la transferencia de materia a través de la pared de los capilares pulmonares es muy poco selectiva.

Según ***Ballester***, efecto va a ser función de la posibilidad de penetración en el ser vivo, de la toxicidad inherente de la sustancia y de la dosis (depende de la concentración y del tiempo de exposición). La posibilidad de penetración es distinta así se trate de un contaminante particulado o gaseoso:

- Los **gases** van a penetrar más o menos en función de la solubilidad en agua, por lo que a mayor solubilidad menor penetración ya que se quedaría retenido en la garganta o boca, y a menor solubilidad mayor posibilidad de penetración en el organismo (puede llegar al pulmón y se podría transportar a la sangre), los contaminantes gaseosos más importantes son:

- **CO**: Tiene escasa solubilidad en agua por lo que puede penetrar hasta los alvéolos pulmonares y por lo tanto hasta la sangre formando carboxihemoglobina impidiendo que se una el oxígeno a la hemoglobina impidiendo por tanto su transporte y se produce la asfixia, como dato podemos decir que la afinidad del CO por la hemoglobina es 200 veces mayor que la del O. Los efectos tóxicos van a depender de la cantidad de CO unido a la hemoglobina y del tiempo de exposición. La vida media de carboxihemoglobina es de 4h, por lo que para que se produzca la muerte es necesario que el tiempo de exposición sea grande al igual que la concentración de CO.

- **SOx**: Son muy solubles en agua por lo que tienen poca penetración en el organismo, provocan daño en el tracto superior. Aumenta su posibilidad de penetración por transporte sobre partículas por lo que el daño también aumentaría.

- **NOx**: Son poco solubles que por que pueden penetrar en el organismo. El NO2 es 4 veces más tóxico que el NO. Se pueden formar en el organismos nitrosaminas (son molec. cancerígenas). Si llega suficiente a la sangre se forma metahemoglobina, donde el hierro está como Fe(3+) por lo que pierde la capacidad de transportar oxígeno produciéndose por tanto la asfixia, también se pueden producir daños en el sistema respiratorio.

- **Productos del smog fotoquímico**, son sustancias gaseosos o vapores, como el O_3, hidrocarburos, PAN, aldehídos,... son sustancias muy tóxicas. El O_3 son sustancias generadores de radicales libres y forman envejecimiento celular, se nota en concentraciones de 0.1 ppm. Los PAN y aldehídos, van a producir irritación ocular, se nota en concentraciones de 0.7 ppm y en tiempos de exposición de pocos minutos.

- Las **partículas**, la penetración va a ser función del diámetro de las partículas:

- Grandes (>1um), tienen baja capacidad de penetración, quedan retenidas en el tracto superior y también pueden ser ingeridas.
- Intermedias son las que tienen mayor capacidad de penetración.
- Pequeñas, van a quedar pegadas en ele tracto superior, se van uniendo para dar partículas intermedias.

Si una partícula tiene una capacidad de penetración media vamos a distinguir tres tipos en función de su toxicidad:

- Inertes, su toxicidad inherente es muy baja o nula, pero siempre van a producir un efecto, como irritación, disminuyen la capacidad de defensa al estar pegadas en el tracto respiratorio.
- Partículas transportadoras, pueden hacer que otros contaminantes lleguen hasta puntos más interiores del organismo, se pueden unir mediante procesos de adsorción y de absorción.
- Partículas de toxicidad inherente alta, con metales pesados, coincide su alta toxicidad con el diámetro ideal para penetrar en el cuerpo.

Varias especies animales, incluyendo el hombre, responden al dióxido de azufre mediante constricción bronquial, la que aumento 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 SO_2 de 500 $\mu g/m^3$ para una exposición de 10 minutos, o de 250 $\mu g/m^3$ para un periodo de 24 horas, o de 50 $\mu g/m^3$ para un periodo de un año. En Chile, las normas vigentes al año 2000 establecen niveles máximos permitidos de 365 $\mu g/m^3$ y 80 $\mu g/m^3$ para periodos de 24 horas y de un año, respectivamente.

El SO_2 produce broncoconstricción y este efecto se observa en individuos normales cuando las concentraciones llegan a 13.1 mg/m^3; los mismos efectos aparecen en individuos sensibles con 2.6 a 5.2 mg/m^3 de SO_2. Los efectos combinados de distintos compuestos azufrados que se encuentran en la atmósfera producen una fuerte irritación de las vías aéreas superiores. La presencia de partículas y elevada humedad potencian los efectos tóxicos de la mezcla, ya que el dióxido de azufre es soluble y su retención en las vías aéreas superiores restringe el impacto en los pulmones; cuando se encuentra absorbido en partículas, llega más fácilmente a los pulmones y el daño es mayor ***(Bascom, 1998).***

El SO_2 agrava los efectos del material particulado y viceversa. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado que los efectos de la exposición de los seres humanos en 24 horas al SO_2 agudizan los síntomas o las enfermedades respiratorias a concentraciones en el ambiente superiores a 100 µg/m^3. No obstante, en estudios recientes se han observados efectos nocivos del SO_2 a concentraciones más bajas***. (Sibila, 1997)*** estimó que una reducción de 10 µg/m^3 de las concentraciones de SO_2 en el ambiente estaría asociada con una reducción de la mortalidad comprendida entre 0,20 % y 1,21 %, lo que equivaldría a una gama de 15 a 87 decesos por un millón de personas.

El CO tiene efectos serios sobre la salud, principalmente respiratorios y cardio-vasculares. En concentraciones altas, puede causar la muerte, en tiempos de exposición relativamente cortos. En concentraciones menores, como aquellas existentes en el aire urbano, el CO afecta la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. El oxígeno y el monóxido de carbono son transportados dentro del cuerpo humano por la hemoglobina (molécula encontrada en los glóbulos rojos). El CO_2 generado en la actividad metabólica es transportado por la sangre hacia los pulmones, donde se intercambia por O_2, el que entra en la circulación sanguínea, mediante la acción de la hemoglobina. Desgraciadamente, la afinidad del CO con la hemoglobina es 200 veces mayor que la correspondiente al oxígeno. La hemoglobina a la cual se ha adherido CO se llama carboxihemoglobina (COHb), la

que no puede transportar O_2 hacia las células. Según la OMS, el nivel de COHb en la sangre de las personas expuestas a CO no debiera superar el 2,5%, respecto al contenido total de hemoglobina***. (Álvarez, 1987)***

Investigaciones llevadas a cabo por **(*Burneo, 1996)*** el monóxido de carbono actúa directamente en el proceso de transportación e intercambio de oxígeno (O_2) en la sangre compitiendo con él debido a su afinidad por los átomos de hierro de la molécula de hemoglobina, la cual al adquirir una molécula de CO se convierte en carboxihemoglobina (abreviado COHb).. La presencia de carboxihemoglobina disminuye la capacidad total de la sangre de llevar oxígeno a las células, para ser canjeado por dióxido de carbono (CO_2) en los vasos capilares trayendo daños irreversibles a los tejidos por falta de oxigenación.

El nivel normal de COHb es de 1,2 % a 1,5 %, cuando el nivel de COHb llega a alrededor del 5 % comienza a inducir efectos nocivos para la salud. Algunos estudios han demostrado que comienza a afectarse la capacidad de raciocinio a niveles de COHb comprendidos entre 3,2 % y 4,2 %. Exposiciones a concentraciones de 45 mg/m^3 de CO durante más de 2 horas afectan la capacidad de raciocinio de una persona. Entre 2 y 4 horas de exposición a 240 mg/m^3 se eleva el nivel de COHb en la sangre entre 10 % y 30 %. La exposición a 1000 mg/m^3 de CO eleva el nivel de COHb en la sangre a más de 30 % y causa un rápido incremento del pulso, lo que provoca coma y convulsiones. De 1 a 2 horas de exposición a 1830 mg/m^3 resulta en un 40 % de COHb en la sangre, lo que puede provocar la muerte.

Las partículas sólidas en suspensión de más de 10 µm de diámetro, inhaladas por la nariz, se depositan en la sección extratoráxica de las vías respiratorias, en tanto que las fracciones de 2,5 µm a 10 µm se depositan cerca de las vías aéreas finas. Las $MP_{2,5}$ preocupan más porque pueden evadir el sistema de defensa del aparato respiratorio humano y llegar al tejido pulmonar, donde pueden permanecer alojadas durante años, en el caso de las partículas solubles, pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo. ***(Armendía, 1995)***

Aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a 10 μm pueden cruzar las barreras protectoras de la zona superior del sistema respiratorio. Una vez que las partículas entran al tracto respiratorio, se les presentan varios caminos de ingreso al resto del cuerpo. Algunas pueden ser atrapadas por el flujo mucoso que baña una porción del tracto respiratorio. Finalmente, el mucus es tragado y, por lo tanto, las partículas llegan al estómago y a los intestinos. Otras permanecen en los pulmones donde pueden rodearse de tejido y, eventualmente, ser incorporadas al flujo sanguíneo.

(Peters, 1997) ha sugirieron que el poder tóxico de las partículas en los ambientes urbanos procedería de su alta composición en partículas ultrafinas. Así, aunque su concentración no sea muy alta, estas partículas podrían provocar una exacerbación de los problemas respiratorios e incrementar la coagulabilidad plasmática. En un estudio realizado en Alemania se encontró que durante un episodio de contaminación atmosférica con niveles elevados de SO_2 y de partículas en suspensión, las cifras de viscosidad sanguínea se encontraban elevadas, tanto en hombres como en mujeres. ***(Katsouyanni, 1997)***

Estos contaminantes según **(*Andrews,1998),*** en su efecto como irritante del tracto respiratorio, activa determinados reflejos del sistema de respiratorio, produciendo reacciones no inflamatorias y una hiperreactiividad bronquial. Los episodios agudos comienzan por el espasmo bronquial, el que ocurre alrededor de media hora después del estímulo y dura tres a cuatro horas: esta es la fase precoz. En algunos casos se manifiesta una fase retardada o broncoespasmo, lo que puede durar horas y días; a medida que el padecimiento se hace más grave o crónico, en este caso la inflamación predomina sobre el espasmo y es característico de prolongadas exposiciones a ambientes muy contaminados.

Los niños, los ancianos y las personas que sufren del corazón, de asma u otras enfermedades pulmonares son grupos de mayor riesgo para la exposición a NO_x. El NO_2 es un gas irritante que se absorbe en la membrana mucosa de las vías

respiratorias. El efecto más adverso para la salud se produce en la intersección de las vías respiratorias y la región de intercambio gaseoso de los pulmones. Con una disminución de la función pulmonar con efectos directos que abarcan desde la inflamación de la membrana mucosa del árbol traquebronqueal a la bronquitis, la bronconeumonía y el edema pulmonar agudo. Después de la exposición al NO_2 hay presencia de ácidos nítrico y nitroso o sus sales en la sangre y en la orina. Además, perjudica la visión de las personas que van manejando ***(Odriozola, 1996)***

La función pulmonar se ve afectada por una exposición de 30 minutos a una concentración de NO_2 de 560 µg/m^3 con ejercicio, 940 µg/m^3 en personas asmáticas y más de 1300 µg/m^3 en una exposición de 10 a 15 minutos en personas sanas. Se encontró que la exposición a una concentración media diaria de NO_2 de 244 µg/m^3 provocaba dolores de garganta en personas adultas ***(Loblad ,1992)***

Para ***(Delfino,1998)*** el ozono produce efectos tóxicos sobre el aparato respiratorio; si la concentración es alta se produce la muerte por hemorragias y edema agudo de pulmón. En seres humanos se ha determinado que el umbral para la irritación de garganta es de 590 µg/m^3, mientras que con 39 µg/m^3 la mayoría de las personas perciben el olor a ozono. La exposición crónica a concentraciones de ozono (O_3) superiores a las admisibles produce bronquitis, enfisema y fibrosis pulmonar. Se han observado efectos nocivos del ozono sobre la salud incluso en períodos de exposición de apenas 5 minutos .

Según ***(Sunyer, 1997),*** una reducción en las funciones pulmonares de niños y jóvenes en concentraciones promedio de ozono en una hora comprendidas entre 160 µg/m^3 y 300 µg/m^3. Se ha estimado que por cada incremento de 1 µg/m^3 en el promedio anual de ozono máximo diario durante 1 hora, se predijo de 28 a 97 días de síntomas respiratorios por personas anualmente, de 23 a 30 irritaciones oculares por adulto por año, y de 39 a 190 ataques por asmático por año.

Generalmente, los aldehídos tienen olores penetrantes y se piensa que son responsables, en especial, del olor proveniente de los vehículos diesel. Los aldehídos son absorbidos en las vías respiratorias y en el tracto gastrointestinal, son metabolizados y excretados del organismo. Los efectos nocivos de los formaldehídos sobre la salud incluyen la irritación de ojos y nariz (a una concentración de 0,06 mg/m^3), irritación de las membranas mucosas y alteraciones en la respiración (a una concentración de 0,12 mg/m^3), tos, náuseas y disnea **(*Odriozola, 1996).***

En los últimos años ha habido un gran avance en el conocimiento y comprensión de los efectos de la contaminación atmosférica, principalmente desde el punto de vista metodológico. Entre los estudios epidemiológicos, los de series temporales son los más utilizados para medir los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica. Los principales efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud van desde un aumento de la mortalidad total y por causas respiratorias y cardiovasculares a las alteraciones del funcionalismo pulmonar y otros síntomas, pasando por un incremento en el número de visitas médicas e ingresos hospitalarios ***(Morgensten, 1995).***

1.10 Conclusiones Parciales del Capítulo 1

1. La contaminación atmosférica es un problema muy serio que atañe a la sociedad moderna. Es causada en lo fundamental por el hombre y solo con una acción conciente y responsable de este se puede salvar a la humanidad de una catástrofe ecológica.

2. Las condiciones atmosféricas inciden mucho en el grado de contaminación de una zona pues procesos atmosféricos tales como el movimiento del aire (viento) y el intercambio de calor determinan el destino de los contaminantes a medida que pasan por las etapas de transporte, dispersión, transformación y remoción.

3. Los contaminantes emitidos a la atmósfera por la acción del hombre como el CO, $SO_{2,}$ los NO_x y las partículas sólidas pueden causar severos daños a la salud e incluso pueden causar la muerte.

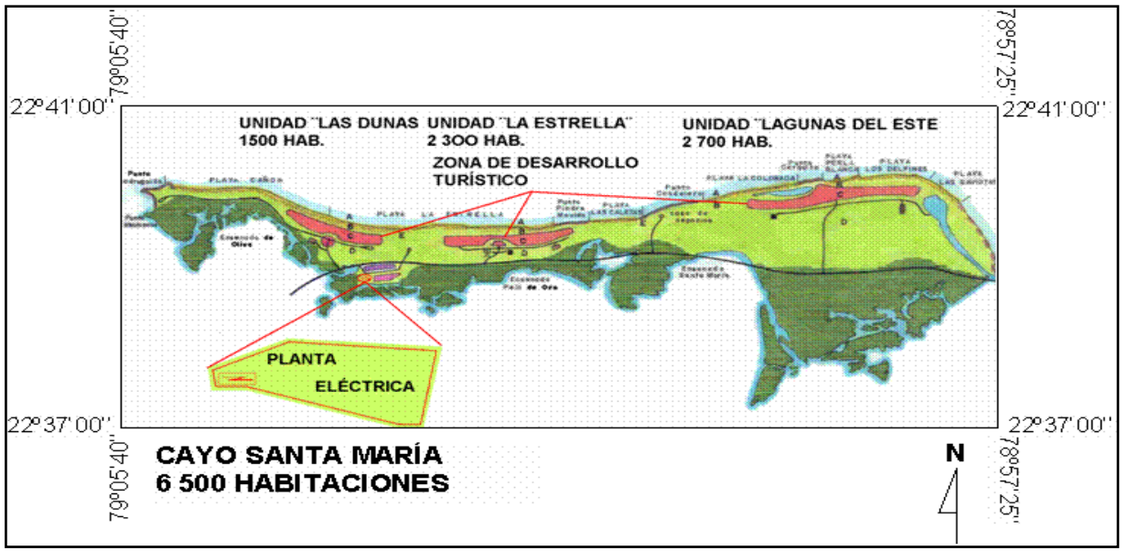
4. Es de vital importancia que se realicen estudios de calidad del aire en los lugares donde exista emisión de contaminates a la atmósfera para determinar si las concentraciones de estos están dentro de los parámetros establecidos por las normas y legislaciones de cada país.

Capítulo 2: Procedimientos y Métodos utilizados.

2.1 Descripción de la de la zona de estudio.

La cayería Noreste de Villa Clara forma parte del Archipiélago Sabana Camaguey. Tiene una extensión de 45 Km^2 . Limita al Norte con el Canal de San Nicolás y Viejo de Bahamas, al sur con las Bahías de San Juan de los Remedios y Buena Vista y al oeste con Boca Marcos. Los principales cayos son Cobos, Francés, Fragoso, Las Brujas, Ensenachos, Maja, Cayo Español de Adentro y Cayo Santa Maria, en este ultimo se encuentra ubicada la Central Diesel Eléctrica que se encarga de suministrar el servicio eléctrico a las presentes y futuras inversiones en la cayería norte villaclareña.

La planta se encuentra ubicada entre los 79 03’ 36’’, y 79 03’ 24’’ de longitud oeste y los 22º 39’ 00’’ y 22º 39’ 10’’ de latitud norte en el Cayo Santa María localizado en la Cayería Norte de la isla en la Zona límite de las Provincias de Villa Clara y Santi Spíritu perteneciente al Municipio de Caibarién. Cercano a la Planta a 1km aproximadamente se encuentra el primer hotel en explotación del cayo “Las Dunas” y están en construcción otras dos unidades “La Estrella” y “Lagunas del Este” a una distancia cercana a 2.5 y 5 Km. respectivamente, además en la vecindad de la planta se hayan ubicadas las bases de apoyo a la construcción y el turismo y algunos campamentos de fuerza de trabajo a una distancia de alrededor de 500 m. En esta cayería existen 17 Km de excelentes playas donde existe un potencial habitacional máximo de 8660 habitaciones con categoría 4 y 5 estrellas. Ricaño, (2003).



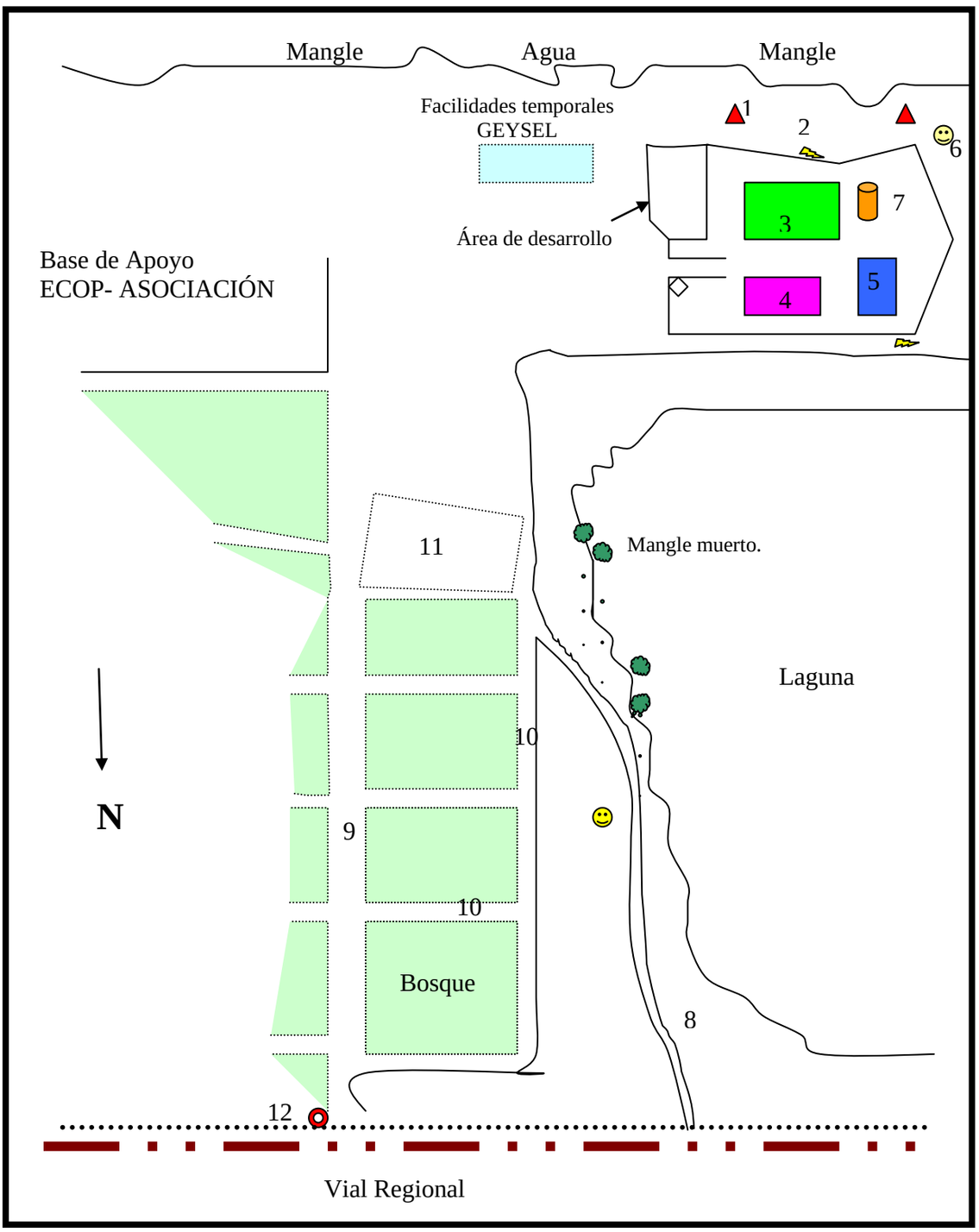


Fig 2 Croquis de las instalaciones de La Central Eléctrica y el entorno circundante.

Leyenda:

1- Zonas de la plataforma afectadas por la erosión.
2- Registros eléctricos sin protección.
3- Sala de máquinas.
4- Sala de transformadores.
5- Laboratorios y administrativo.
6- Sitios arqueológicos alterados.
7- Tanques de combustible.
8- Trocha perimetral.
9- Vial de acceso a Base de Apoyo y GEYSEL.
10- Trochas.
11- Plataforma de la planta de prebombeo de residuales.
12- Punto provisional de abasto de agua y conductora.

2.2 Caracterización de la Central Eléctrica Cayo Santa Maria.

La construcción de la planta Geysel se realizó, según la clasificación de la vegetación natural de ***Capote y Berazaín (1984),*** en un Matorral Xeromorfo Costero-Subcostero entre dos franjas de mangle y próximo a una pequeña laguna en la porción sur oeste de Cayo Santa María. Debido al desbroce total de la vegetación natural durante las obras constructivas, solo se encuentra una pequeña parte de este tipo de matorral en la región posterior de la planta. A ambos lados de la misma predomina la vegetación de manglar con algunos elementos del matorral y otras especies introducidas (herbáceas fundamentalmente) producto de la actividad antrópica en el lugar. La presencia de especies nativas es más evidente en el lateral derecho, donde se encuentra una estrecha franja de vegetación original, aunque entre esta y el manglar existe una amplia brecha aparentemente carente ya de uso.

En el Matorral hay presentes 17 familias, con 20 especies pertenecientes a 19 géneros (ANEXO 1). La familia con mas número de especies es la Mimosaceae con tres, de las que dos de ellas son del genero *Pithecellobium*, el único con mas de una especie. En esta formación vegetal no se existe ninguna especie introducida, demostrándose el buen estado de conservación de esa área. No obstante por su pequeña extensión es necesario velar por la protección de la zona y tomar medidas encaminadas a lograr una extensión del matorral hasta la cerca perimetral.

En los laterales de la instalación se existen un total de 40 especies pertenecientes a 37 géneros de 24 familias (ANEXO 2). Las familias mas representadas son Poaceae y Asteraceae con siete y cuatro especies respectivamente. Los géneros con mas especies son *Cyperus*, *Chamaecyse* y *Setaria*. Estas son plantas de

hábitos herbáceos y de rápida propagación que han aumentado considerablemente su número de individuos. Del total de especies determinadas el 47,50% corresponde a plantas introducidas, lo que esta dado por la intensa actividad antrópica en la zona debido a las labores de construcción. El incremento es muy evidente en la familia Poaceae donde todos los representantes de la misma son introducidos. El desbroce de la vegetación, para la construcción de la planta, más alla de lo necesario trajo consigo la existencia de áreas despobladas que facilitaron el establecimiento de las especies introducidas.

En el frente de la instalación y dentro de la misma hay presencia de 12 familias de plantas con 13 especies pertenecientes a igual número de géneros (Anexo 3). En estos lugares luego del desbroce y producto de la actividad antrópica se han establecido numerosas especies oportunistas cuyas diásporas han llegado al lugar; dentro de ellas se encuentran varias especies introducidas y otras nativas como el boniato de costa.

La planta esta dotada de tres grupos de generación cada uno formado por un motor de combustión interna tipo Diesel Marca CUMMIN y un generador asincrónico acoplado. A continuación pueden verse las capacidades de generación de cada grupo y la planta.

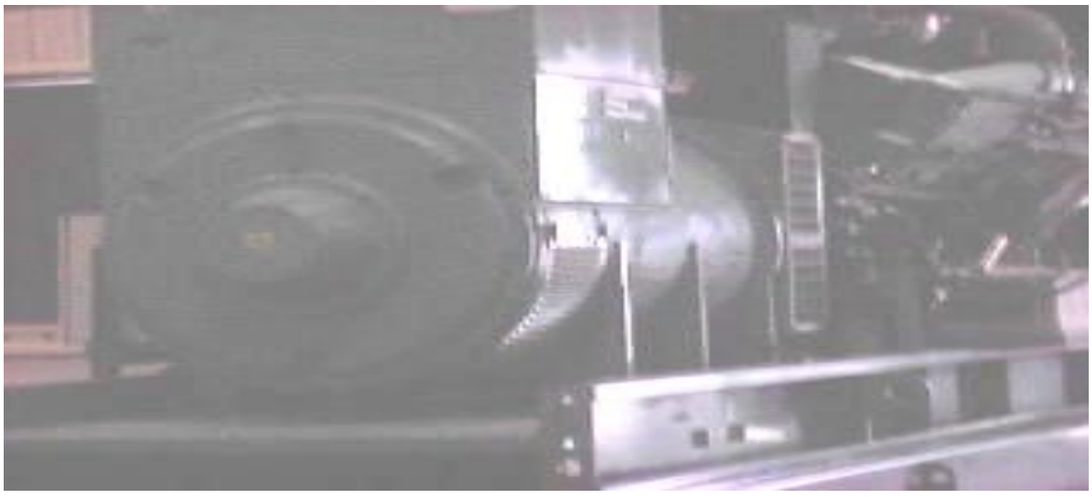


Fig. 2. Vista del generador

Fig. 3. Vista del motor.

Los datos de los Generadores se muestran en la siguiente tabla:

Datos	Generador 1	Generador 2	Generador 3
No de Serie	JOOK114250	JOOK114255	JOOK114260
Año de Fabricación	2000	2000	2000
Potencia Nominal	665 KVA	665 KVA	1120 KVA
Factor de Potencia	O,8	0,8	0,8
Temperatura Ambiente Máxima	40 ^{o}C	40 ^{o}C	40 ^{o}C
Coeficiente Nominal Amperius	819	819	1684
Voltaje	480	480	480
Frecuencia	60 Hz	60 Hz	60 Hz

Los datos de los Motores que trabajan en la Central Diesel Eléctrica del Cayo Santa Maria se muestran a continuación:

Dos motores CUMMING con las siguientes características:

Horse Power ---------- 900 hp

Mínima Velocidad ---------- 725 RPM

Máxima Velocidad ---------- 2400 RPM

Tipo ----------4 tiempos y12 Cilindros

Desplazamiento ----------28 litros.

Un Motor CUMMIN con las siguientes características:

Horse Power ---------- 15 00 hp

Mínima Velocidad ---------- 725 RPM

Máxima Velocidad ---------- 2400 RPM

Tipo ----------4 tiempos y12 Cilindros

Desplazamiento ----------48 litros.

Capacidades de Generación de los grupos :

Estación generadora	Grupo-1 (G-1)	Grupo-2 (G-2)	Grupo-3 (G-3)	Planta
Carga Máxima (kW)	665	665	1120	2450

Como se muestra en la figura 1 la Central Eléctrica cuenta de un Edificio principal donde se localizan los tres motores con sus respectivos generadores de electricidad, en ese mismo local se encuentra la sala de control automático desde donde se chequea todo el funcionamiento de la planta y donde se llevan los reportes diarios y la documentación de la central. Al fondo de este edificio se localizan los dos tanques para el almacenamiento de combustibles que tienen una capacidad de total de 87367 litros de Diesel, este es el combustible que se usa como materia prima fundamental en la generación de Electricidad del Cayo, estos tanques cuentan con la piscina de contención para evitar derrames al manto freático en caso de cualquier avería de los mismos. Además cuentan con un plan contra incendios que les permite enfrentar con rapidez y con el menor daño posible al ecosistema cualquier incidente de este tipo que se produzca en la Planta. Además en el perímetro cercado de la instalación se encuentra la sala de transformadores con una capacidad total de 5 MVA y el bloque administrativo donde se ubica además el laboratorio del centro.

2.3 Desarrollo de la investigación.

2.3.1 Antecedentes.

A la Central Eléctrica Cayo Santa Maria se le otorgo la licencia ambiental 12/99 para amparar las obras de construcción y funcionamiento de la Planta Eléctrica con las siguientes obligaciones a cumplir:

Se lograra un proyecto de organización de obras que garantice los movimientos de tierra única y exclusivamente limitada al área física a construir, manteniendo un

riguroso control de esas acciones. El inversionista queda obligado a restaurar los daños adicionales que puedan ocasionarse por indisciplina tecnológica o inobservancia de las regulaciones al respecto, independientemente de la responsabilidad que con ello se contrae.

Los residuos sólidos resultantes de la construcción se extraerán del lugar y se depositaran en áreas autorizadas al efecto por la dirección de Planificación Física.
No quedaran taludes de material de relleno próximos al complejo de vegetación de manglar, sino que los bordes de la plataforma tendrán pendientes suaves hacia el manglar, en el orden del 10 %. Esta zona se revegetara con especies de crecimiento rápido y efecto protector tales como Bijaura y uva caleta.

Humedecer el material de relleno y evitar derrames al aire libre de materiales como cemento que puedan generar polvos que contaminen la atmósfera.

No utilizar combustibles con más de un 3 % de azufre en su composición.
Las aguas que se lleguen a verter en el Cayo cumplirán como parámetros pH de 6 a 7 unidades, ausencia de grasas y materiales aceitosos, los sólidos sedimentables totales serán de 10 mg / l como máximo, la DBO 60 mg/l y la DQO de 160 mg/l.

Las emanaciones gaseosas de la planta se ajustaran a la NC 93 02 202, modificada por la norma XX de 1999, Calidad del Aire. Requisitos higiénicos sanitarios. Los niveles de contaminantes gaseosos admisibles se corresponderá con la admisión de hasta un fondo presumible de:

Sustancia	Emisión Instantánea Mg por m^3	Promedio diario Mg por m^3
Óxidos de Nitrógeno NO_x	0.085	0.040
Óxidos de Azufre	0.500	0.050
Monóxido de Carbono	5.000	3.000

Además se deberán realizar monitoreos ambientales anuales que incluyan :

- Aportes de Sedimentos al Manglar
- Calidad del Aire.
- Calidad del agua en la zona del Manglar y aguas costeras adyacentes.
- Cambios en la biodiversidad de la fauna en los espacios seminaturales adyacentes.
- Niveles de ruido.

De los monitoreos que se establecen en la licencia ambiental que deben ser realizados el único que faltaba por efectuar era el de la calidad del aire debido a los trabajos complejos que un estudio de este tipo requiere y a la carencia de equipos especializados para llevar a cabo esta actividad. Esta situación fue criticada por la Inspección Ambiental Estatal que chequeo el cumplimiento de las orientaciones dadas por el CITMA a todas las empresas que laboran en la cayería Norte durante el mes de Marzo del 2002.

Nos dimos a la tarea de efectuar el estudio de la Calidad del Aire en esta zona pues nunca se había realizado ninguna investigación de este tipo en esta zona y este estudio es imprescindible para poder conocer los niveles de contaminación ambiental y el posible deterioro de la calidad de vida que en este polo turístico puede estar provocando la Central Eléctrica.

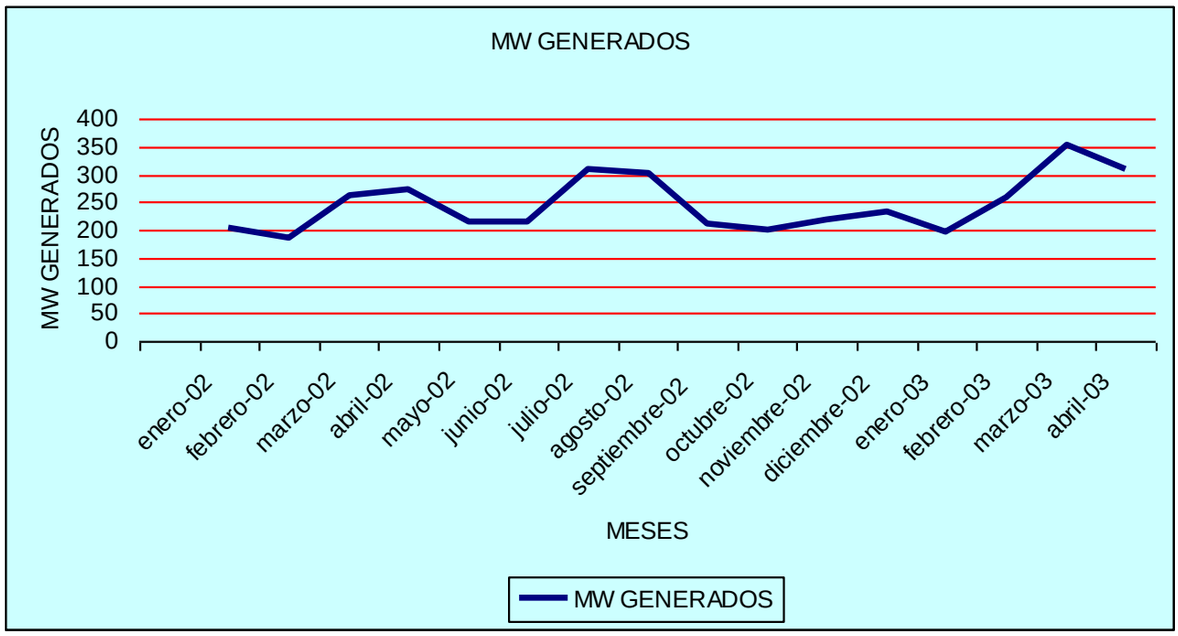
(ANEXIOS) INFORMES DEL CITMA

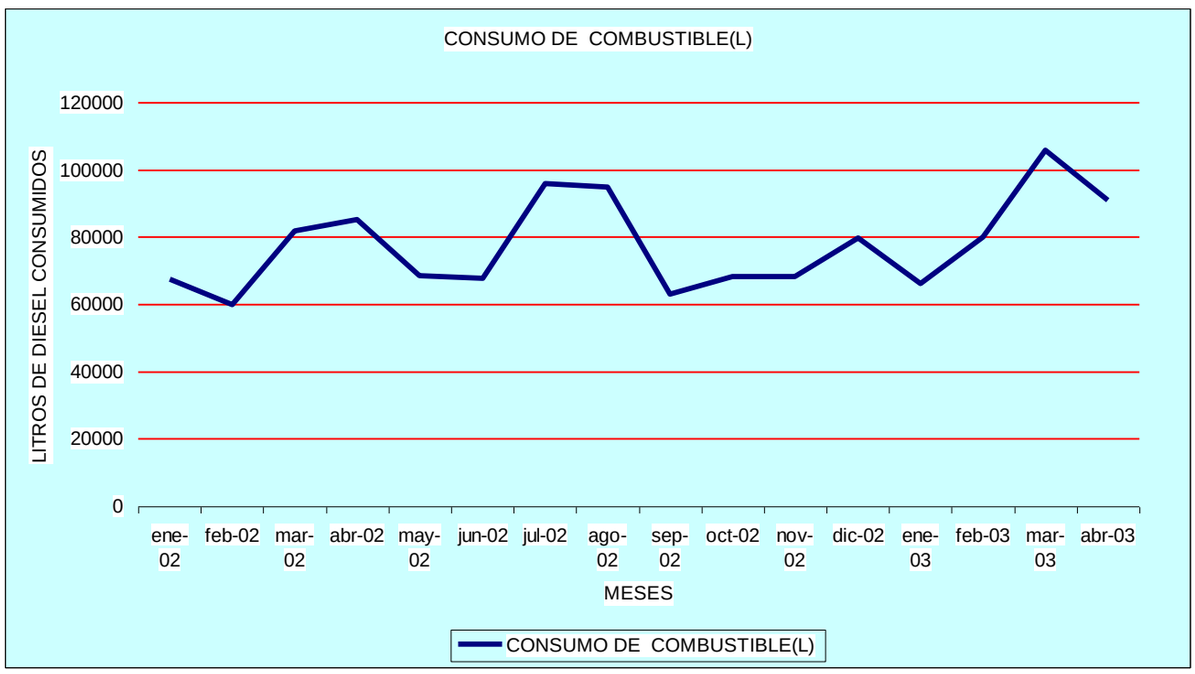
2.3.2 Selección del periodo de muestreo.

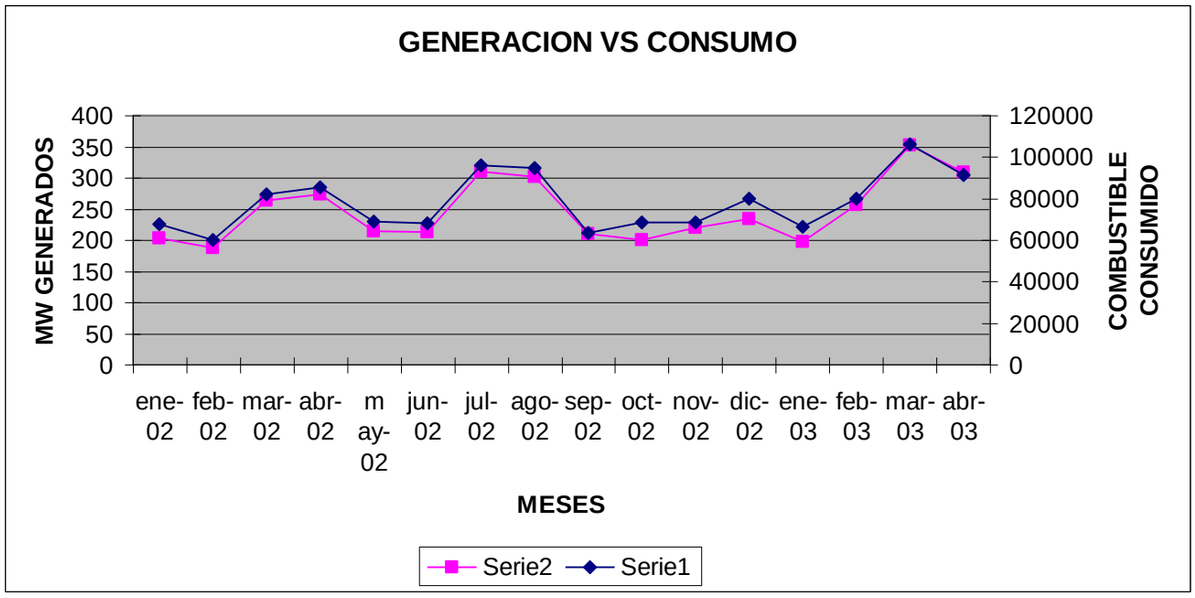
Para la selección del periodo en que se medirían las emisiones de los gases de la combustión de la Central Eléctrica Cayo Santa Maria se analizaron los meses de mayor emisión de contaminantes a la atmósfera.

Para la selección de los meses en que la Planta Eléctrica emite las mayores cantidades de contaminantes a la atmósfera se realizo un estudio del comportamiento diario de la electricidad entregada por la planta y los consumos de combustibles de la misma durante un periodo de 16 meses desde Enero del 2002 hasta Abril de 2003. Además se tuvo en cuenta las proyecciones de Crecimiento en la Generación de Electricidad acorde con la entrada en funcionamiento de nuevas instalaciones hoteleras y otros servicios en la Cayería. De este análisis se dedujo que los meses que mas contaminantes emitirían a la atmósfera eran los de Marzo y Abril del 2003 pues coincide la temporada alta del turismo con la realización de varias obras en el Cayo y como se puede apreciar en los gráficos que fueron los meses de mayor consumo de combustible y de mayor generación de energía eléctrica.. Además como se muestra en el Anexo por plan históricamente ha sido Marzo el mes de mayor plan de Generación de electricidad.

La tabla con los datos analizados se muestran en los ANEXOS. De estas tablas se confeccionaron los gráficos que se muestran a continuación :


MW GENERADOS
MW GENERADOS
400
350
300
250
200
150
100
50
0
enero-02
febrero-02
marzo-02
abril-02
mayo-02
junio-02
julio-02
agosto-02
septiembre-02
octubre-02
noviembre-02
diciembre-02
enero-03
febrero-03
marzo-03
abril-03
MESES
MW GENERADOS


CONSUMO DE COMBUSTIBLE(L)
LITROS DE DIESEL CONSUMIDOS
120000
100000
80000
60000
40000
20000
0
ene-02
feb-02
mar-02
abr-02
may-02
jun-02
jul-02
ago-02
sep-02
oct-02
nov-02
dic-02
ene-03
feb-03
mar-03
abr-03
MESES
CONSUMO DE COMBUSTIBLE(L)



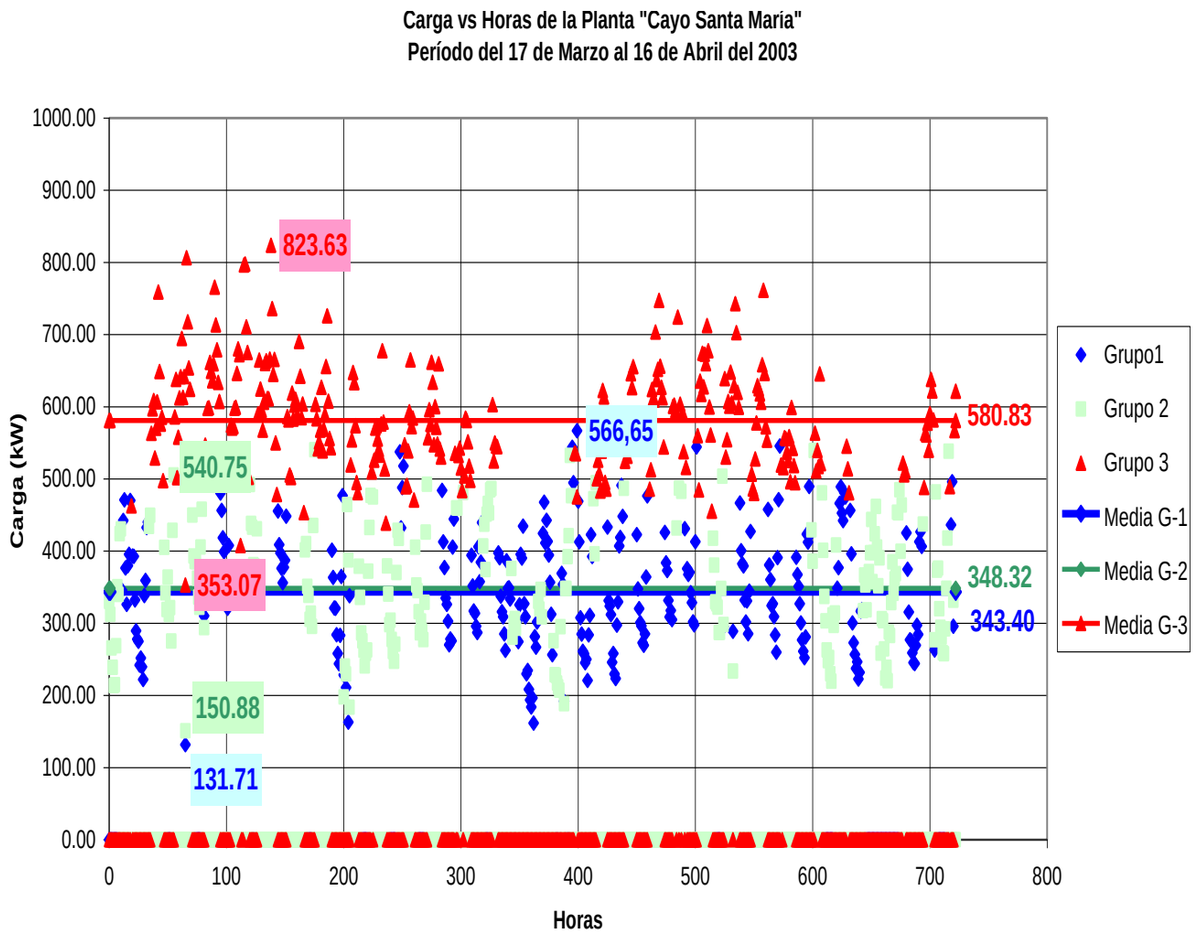
2.3.3 Análisis de carga de la Central Eléctrica.

Para la realización del análisis de las composiciones de los gases de la combustión al salir por la chimenea de la Central Eléctrica es imprescindible tomar las muestras en los regimenes de cargas mas probables en que trabaja la planta para así obtener datos que sean representativos de lo que esta ocurriendo en el cayo en materia de contaminación del aire.

Para ello se hicieron estudios estadísticos que nos permitieron conocer la combinaciones mas probables en la que trabajaban los grupos electrógenos y así conocer bajo que circunstancias debería tomarse las mediciones de los gases de la combustión para obtener una mayor representatividad a la hora de captar los % de contaminantes en la salida de los gases de la combustión.

A continuación se muestran los resultados de los análisis de carga en el tiempo para el período de estudio en La Planta Cayo Santa María, lo cual nos permitió seleccionar las cargas de la planta que son mas representativas de su régimen , las emisiones correspondientes dichas cargas fueron tomadas para estimar la dispersión de los contaminantes emitidos en el tiempo mediante el Software ISCST3. Las tablas confeccionadas con este fin están en los ANEXOS

En el siguiente grafico se muestran los valores de carga en el tiempo para planta en el período de estudio.



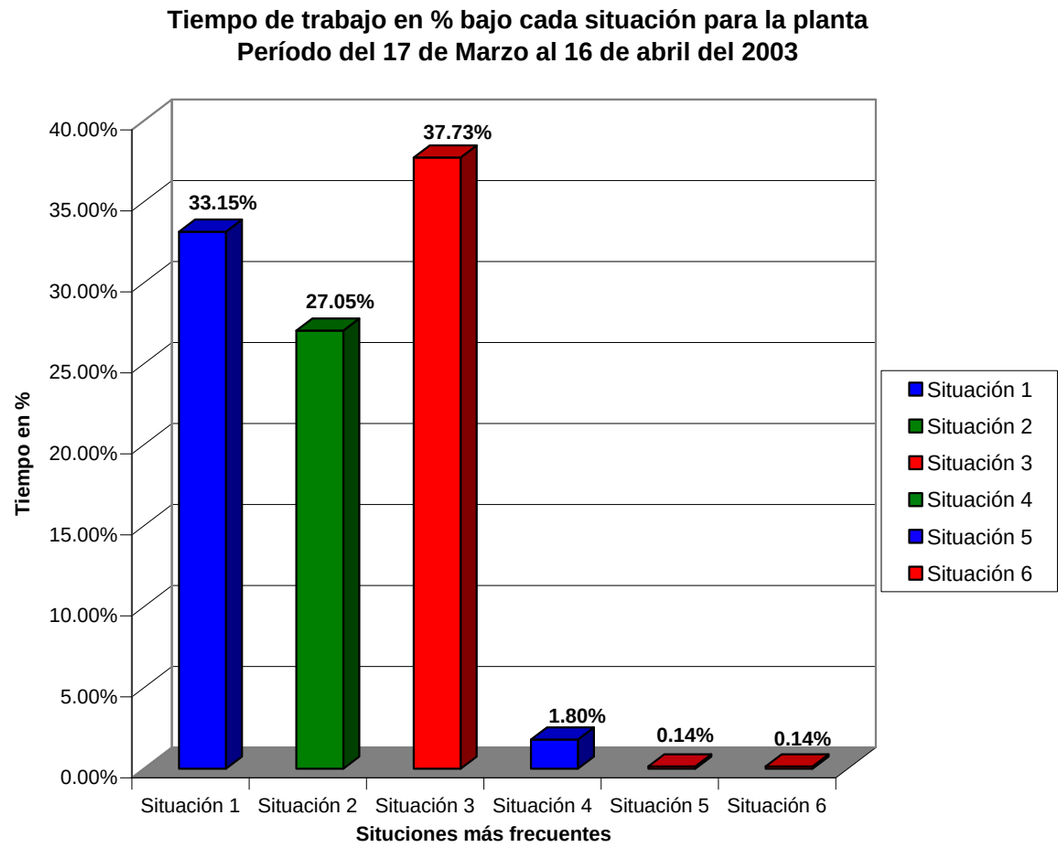
Los valores medios mínimos y máximos para el grupo 1 (G-1), el grupo 2 (G-2) y para el grupo 3 (G-3) de la planta que pueden verse en el gráfico se muestran en la siguiente tabla en kW y en % para cada grupo de trabajo de la planta.

Variables Analizadas durante el tiempo de trabajo en la etapa de estudio.	**Grupo-1**		**Grupo-2**		**Grupo-3**		**Planta**	
	Carga (kW.)	Carga (%)	Carga (kW.)	Carga (%)	Carga (kW.)	Carga (%)	Carga (kW.)	Carga (%)
Valores medios	344.47	51.80%	348.32	52.38%	580.83	51.86%	438.35	17.89%
Valores mínimos	131.71	19.81%	150.88	22.69%	353.07	31.52%	161.73	6.60%
Valores máximos	566.65	85.21%	540.75	81.32%	823.63	73.54%	823.63	33.62%

Una vez conocidos los valores de potencia demandados dentro de los que se mueven los estados de carga para cada grupo es preciso señalar que los grupos no trabajan siempre simultáneamente es decir trabajan de manera independiente o combinados en función de seguir la carga de la manera más económica teniendo en cuenta las demandas que se vayan registrando.. Atendiendo a esto pueden darse las siguientes situaciones.

1. G-1 Generando y G-2 y G-3 sin funcionar
2. G-2 Generando y G-1 y G-3 sin funcionar
3. G-3 Generando y G-1 y G-2 sin funcionar
4. G-1 y G-2 Generando y G-3 sin funcionar
5. G-1 y G-3 Generando y G-2 sin funcionar
6. G-2 y G-3 Generando y G-1 sin funcionar

En este análisis se excluye la posibilidad de que generen electricidad los tres grupos al mismo tiempo o que los tres estén fuera de servicio, ya que la demanda de electricidad máxima que se ha registrado alcanza solo un valor de 823.63 kW(73.54% de la potencia capaz de entregar el G-3 y 33.62% de la potencia que potencialmente puede entregar la planta), para que surja necesidad de que funcionen los tres grupos al mismo tiempo la carga deberá alcanzar valores superiores a los 1,3 MW (55% de la capacidad de la planta) aproximadamente, por otra parte el servicio eléctrico debe funcionar las 24 h del día por lo que se excluye la posibilidad de una parada simultanea de los tres grupos generadores.
En los gráficos que siguen se muestra el porciento de tiempo real que se trabaja en la planta y por grupo en cada situación.

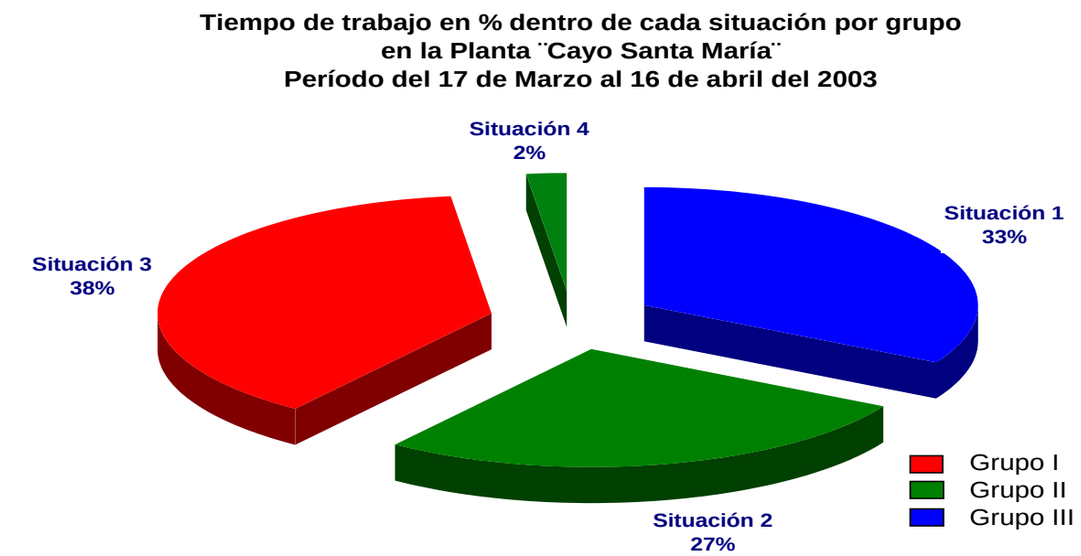


Los valores dados en los gráficos anteriores pueden verse en la siguiente tabla:

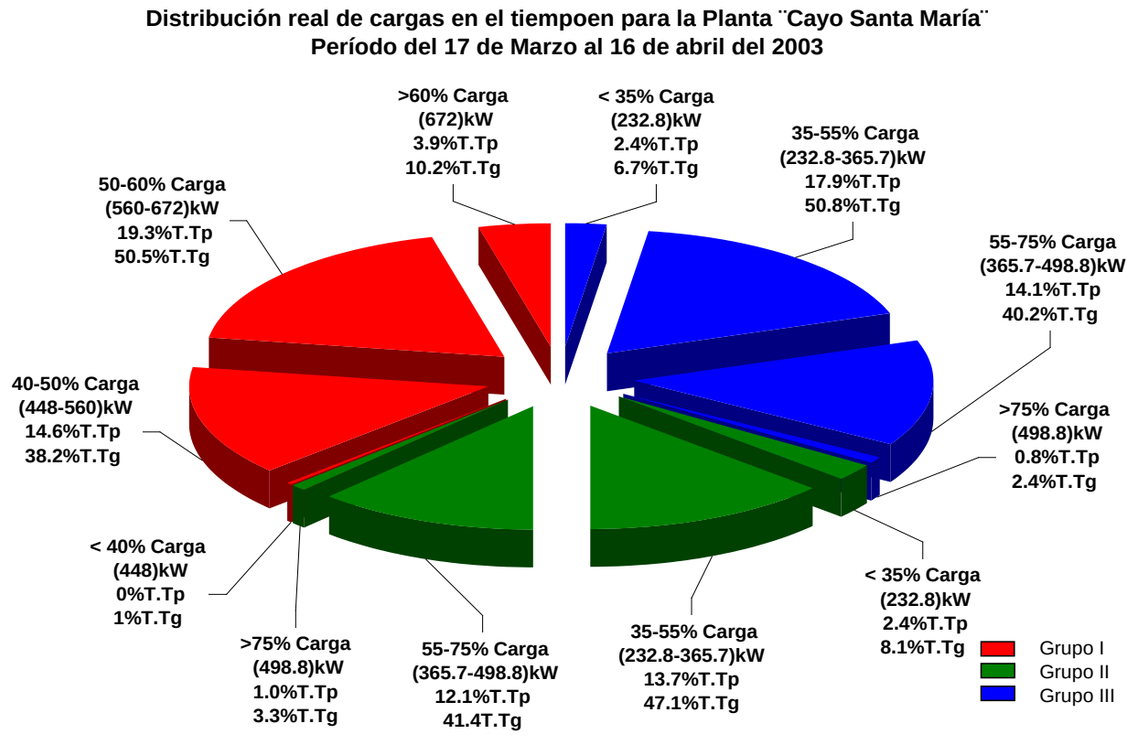
INSERTAR TABLA DE TRABAJO POR HORAS DE LOS GRUPOS idalbertooooo

Parámetro que se analizan	SITUACIÓN					
	1	2	3	4 (G-1 y G-2)	5 (G-1 y G-3)	6 (G-2 y G-3)
Registros en cada situación.	239.00	195.00	272.00	13.00	1.00	1.00
Registros de trabajo totales de los grupos independientes y combinados.	254.00	210.00	275.00	464.00	529.00	485.00
Por ciento de registros del total dentro de cada situación por grupos.	94.09%	92.86%	98.91%	2.80%	0.19%	0.21%
Por ciento que representan los registro dentro de cada situación del total de registros de la planta	33.15%	27.05%	37.73%	1.80%	0.14%	0.14%

Los tiempos que bajo cada situación que se muestran en el gráfico anterior es real, puede verse que las situaciones 5 y 6 prácticamente no se presentan por lo que despreciarlas no trae consigo un error significativo y simplifica en gran medida el trabajo por lo que asumiremos los tiempos bajo cada situación como se muestra en el gráfico que sigue.



cambiar colores de los grupos.



Distribución real de cargas en el tiempo por Grupos para la Planta ¨Cayo Santa María VER CAMBIAR EL ENUNCIADO.

A partir de este grafico obtuvimos las cargas de trabajo mas frecuentes para cada uno de los grupos y a partir del análisis de esta información es que se escogen los momentos mas adecuados para la toma de muestras o sea medimos las emisiones de contaminantes a la atmósfera bajo las siguientes situaciones:

Medición	Situación
1	Grupo 1 trabajando entre el 35 y el 55 % de su capacidad
2	Grupo 1 trabajando entre el 55 y el 75 % de su capacidad
3	Grupo 2 trabajando entre el 35 y el 55 % de su capacidad
4	Grupo 2 trabajando entre el 35 y el 55 % de su capacidad
5	Grupo 3 trabajando entre el 40 y el 50 % de su capacidad
6	Grupo 3 trabajando entre el 50 y el 60 % de su capacidad

2.4 Equipamiento utilizado, descripción y funcionamiento.

Para realizar las mediciones de las características de los gases de la combustión provenientes de la quema de Diesel para la generación de energía eléctrica se utilizo un taladro de mano con el cual se le abrieron orificios a las chimeneas de expulsión de los gases de los motores y por ese orificios se introdujeron los sensores de los equipos ECOM-SG y Testo 301 con los cuales se realizaron

durante el periodo seleccionado las mediciones necesarias para evaluar la calidad del aire en el Cayo Santa Maria.

El Sistema Analizador de Emisiones ECOM-SG ^{PLUS}: es utilizado para el análisis automático de emisiones tóxicas. Una muestra de él es la **Fig. 1**. El equipo posee cuatro pantallas. La primera y principal, marca los % o ppm (partes por millón) del gas en la mezcla de productos gaseosos de la combustión y la temperatura del gas y del local (este seria el ambiente del equipo). Los valores mostrados son de la emisión instantánea, y los valores calculados de CO_2, ε, λ, las pérdidas sólo se indican cuando el % de O_2 medido está por debajo del 20,5% y la diferencia de temperatura es mayor que 5 °C (Tgas – Tlocal) $>$ 5°C. Las otras tres pantallas muestran la información (durante el transcurso de las mediciones) de valores medios de forma automática en intervalos de tiempo dados. Otra muestra de las pantallas es la de programación. Todas las emisiones son reportadas en ppm, pero estas unidades pueden ser variadas expresando los resultados en % o mg/m^3. Para determinar los valores transientes de la instalación el equipo debe operar en régimen manual.

Fig. 1: ***Sistema Analizador de Emisiones ECOM-SG***

El otro instrumento que se utilizo para la realización de los trabajos fue el Testo 300 M1 , este es un analizador de gases de la combustión que cuenta con la certificación ISO 9001 . Este Analizador es capaz de medir la temperatura de los gases de combustión y ambiente, y las concentraciones de O_2, CO_2, CO,NO y SO2. Además con el se puede medir la velocidad de los gases de la combustión.

El Testo pude trabajar directamente conectado a la red nacional de electricidad o por un sistema de baterías recargables que trae el equipo lo que permite hacer mediciones en lugares apartados. El Testo mide la temperatura de los gases de combustión a través de un termopar en la punta de la sonda de gases de combustión.

Este instrumento es capaz de realizar las siguientes combinaciones de medición de gases:

O_2 / CO ; O_2 / CO / NO y O_2 / CO / SO_2.

Para la determinación del contenido de SO_2 y de las partículas suspendidas en el aire se utilizaron las estaciones captadoras CPV-8D7A como la que se muestra en la figura.

Fig. Estación captadora CPV-8D7A

El principio de funcionamiento de las mismas es por colección de las muestras mediante un sistema de succión de aire con flujo constante de 2 a 3 m^3 en un período de 24 horas, quedando retenidas las partículas sólidas suspendidas en un papel de filtro y el dióxido de azufre en solución de peróxido de hidrógeno.

2.5 Determinación de los contaminantes en el aire.

Las muestras de aire evaluadas fueron monitoreadas por las estaciones captadoras CPV-8D7A instaladas dentro de cada zona definidas y su localización es como sigue:

1. En la Garita del SEPSA a la entrada de la Central eléctrica. Ubicación Geográfica: Al noroeste de la planta GEYSEL.
2. En la Base de Apoyo Ubicación Geográfica: Al este de la planta GÉYSEL .
3. En el Hotel Sol Club Cayo Santa Maria Ubicación Geográfica Al Oeste de la planta GEYSEL

La determinación diaria de las concentraciones de los contaminantes se lleva a cabo en los laboratorios pertenecientes al Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera de la Universidad "Marta Abreu" de Las Villas. Solo se cuenta con las técnicas y procedimientos necesarios para la determinación de niveles de dióxido de azufre y partículas sólidas en suspensión en el aire.

2.5.1 Dióxido de azufre.

Fundamento.

Se basa en un método químico, donde en un volumen de aire con presencia de dióxido de azufre se burbujea a través de una disolución de peróxido de hidrógeno donde se oxida y queda retenido como ácido sulfúrico. Esta oxidación es muy rápida. La formación de este ácido origina un aumento de la acidez de la disolución captadora que se determina por volumetría mediante una valoración colorimétrica utilizando disolución de carbonato de sodio, el indicador utilizado es una mezcla de bromocresol y rojo de metilo con punto de viraje de pH=4.5. Las ecuaciones que describen ambas reacciones químicas se relacionan a continuación:

$$SO_{2\,(g)} + H_2O_{2\,(ac)} = SO_{3\,(g)} + H_2O = H_2SO_{4\,(ac)}$$

$$H_2SO_{4\,(ac)} + Na_2CO_{3\,(ac)} = Na_2SO_{4\,(ac)} + H_2O + CO_{2\,(g)}$$

Materiales y Reactivos:

Disolución de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) 0.01 N

Se disuelve 0.53 g de Na_2CO_3 anhidro en 300 ml y se enrasa a 1 L con agua destilada.

Disolución de Ácido Clorhídrico (HCl) 0.1 N

Se disuelve 8.3 ml de HCl concentrado d=1.19 mg/ml (37%) y se enrasa a 1 L con agua destilada.

Disolución de Ácido Clorhídrico (HCl) 0.01 N

Se disuelve 100 ml de HCl 0.1 N. Se agita y se enraza a 1 L con agua destilada.

Disolución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (captadora)

Se añade 10 ml de H_2O_2 al 30% en un matraz aforado de 1 L, se enrasa con agua destilada. El pH de esta disolución debe ser de 4.5. Para comprobar el pH se añade 4 gotas de un indicador a 100 ml de esta solución:

a) Color gris claro: el pH es el correcto

b) Color rosado: en este caso el pH de la misma es ácido. Se le añade gota a gota y mediante una bureta con disolución de Na_2CO_3 0.01 N hasta el viraje estable del indicador gris claro. Se mide el volumen añadido y se adiciona cantidades correspondientes a los 900 ml restantes de disolución.

c) Color azul: en este caso el pH de la misma es básico. Se le añade gota a gota y mediante una bureta, disolución de HCl 0.01 N hasta viraje estable del indicador gris claro. Se mide el volumen añadido y se adiciona cantidades correspondientes a los 900 ml restantes de disolución.

Una vez preparada se conservará en la nevera y especialmente protegida de la luz, su caducidad es de 15 días.

Análisis del blanco:

Se añade 4 gotas de indicador al frasco que contiene la solución utilizada como blanco para observar si se ha producido variaciones en el pH. En el caso de que así sea, se añaden gotas de Na_2CO_3 0.01 N o de HCl 0.01 N según sea el caso para ajustar el pH a 4.5.

Análisis de la muestra:

La misma cantidad de Na_2CO_3 o de HCl, se le añade a la solución que haya hecho un muestreo aire para que así quede ajustado el pH y pueda realizarse la volumetría. Una vez ajustado el pH, se trasvasa la muestra a un vaso de precipitado. Se le añade unas gotas de indicador y se valora el H_2SO_4 con la disolución de Na_2CO_3 0.01 N, la valoración concluye cuando se alcanza el color gris.

Cálculo de la concentración de dióxido de azufre en el aire:

$$C(SO_2) = \frac{321 \bullet Volumen\ \ del\ punto\ de\ \ equivencia}{Volumen\ \ de\ aire\ \ muestrado}\ (\mu g/m^3)$$

2.5.2 PARTICULAS SÓLIDAS EN SUSPENSIÓN.

Fundamento.

La determinación se basa en un método físico al cuantificar la cantidad de luz reflejada por una cantidad determinada de partículas depositadas sobre un papel de filtro (tamaño de poro 11 µm) en comparación con una superficie patrón.

En la iluminación, mediante una fuente de luz estable (**λ**= 365 nm)**,** de la superficie al contrastar con relación al patrón y se dispone de un traductor adecuado que permita visualizar la cantidad de luz reflejada por la superficie. Mediante curvas patrón es posible transformar estas lecturas en cantidades de partículas sólidas depositado en los filtros.

Análisis de la muestra:

1. Situar sobre el soporte blanco suministrado con el reflectòmetro TVM-100 un papel de filtro del mismo tipo de los utilizados para recoger la muestra, colocar el cabezal de lectura centrado sobre el filtro y mediante el potenciómetro de ajustar situar la lectura reflectomètrica a 100 unidades

2. Se determina el área de la mancha en el papel de filtro utilizado (cm^2).

3. Colocar al filtro de muestra que se desea analizar sobre el mismo soporte y proceder a su lectura (L)

4. Calcular el índice de ennegrecimiento (E) del filtro de acuerdo a la expresión:
   E = 100 – L

5. Una vez hallado este valor se lee en la escala la concentración superficial de humos (S) en µg/cm^2 a partir del valor del índice de ennegrecimiento obtenido

6. La concentración de partículas en el aire se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C(Partículas\ Suspendidas) = \frac{(S \bullet\ Area\ de\ la\ mancha)}{Volumen\ \ de\ aire\ \ muestrado}\ (\mu g/m^3)$$

2.5 Datos de fuentes meteorológicas.

En el Cayo instalamos una estación meteorológica automática **(Fig. 4).** Esta estación es la primera que va a trabajar en el Cayo pues nunca antes se habían

medido de manera sistemática las variables meteorológicas en esta zona del país. Esto nos permitió crear una base de datos meteorológicos de mucha utilidad para los análisis de la contaminación atmosférica provocada por la Central Diesel Eléctrica de Cayo Santa Maria pues como se explico en el capitulo 1 la atmósfera juega un papel fundamental en el transporte y dispersión de los contaminantes.

Esta estación fue montada en el Centro Telefónico de ETECSA en el Cayo y todas las semanas durante la investigación se chequeaba y se recogían los datos de temperatura, presión, velocidad y dirección de los vientos, radiación solar, humedad relativa y precipitaciones que la estación imprimía de manera automática cada 1 hora.

• Temperatura del aire • Humedad relativa • Presión atmosférica • Velocidad del viento • Dirección del viento • Radiación solar • Precipitaciones	
	Fig. 4: Estación meteorológica MCV-100.

2.6 Descripción del modelo utilizado para el análisis de las mediciones y su dispersión.

El modelo utilizado para el análisis de las mediciones realizadas fue el ISCST3, que es un modelo de pluma Gaussiano de estado continuo que puede ser usado para evaluar concentraciones y/o deposiciones de flujos de una variedad amplia de fuentes asociadas a la industria y el transporte. Este Software es una donación del Gobierno de Cataluña dentro del proyecto Estudio de la Calidad del Aire en la Ciudad de Santa Clara.

El modelo ISCST3 es de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y fue diseñado para apoyar las opciones de modelación reguladas de la misma. Algunas de las posibilidades del modelo son:

- Puede manejar fuentes múltiples, incluyendo puntuales, volumétricas, de área, y los tipos de fuente de hoyos abiertos. También pueden tratarse

fuentes de la línea como un cordón de fuentes de volumen o como fuentes del área largas.

- Las fuentes de emisión pueden tratarse como constantes o pueden ser variadas por mes, estaciones, horas del día, u otros periodos optativos de variación. Estos factores de emisión variables pueden ser especificados para una sola fuente o para un grupo de fuentes.

- El modelo puede considerar los efectos aerodinámicos debido a los edificios cercanos en emisiones puntuales. Contiene algoritmos para modelar los efectos de precipitación de gases o partículas.

- Pueden especificarse situaciones del receptor como maya y/o receptores discretos en un sistema de coordenadas cartesianas o polares.

- Incorpora el modelo de algorítmos de dispersión COMPLEX1 para los receptores en terreno complejo.

- Utiliza el modelo de datos meteorológicos en tiempo real para considerar las condiciones atmosféricas que afectan la distribución de la contaminación aérea en el área modelada.
- Los resultados pueden ser dados para la concentración, flujo de la deposición total, flujo de la deposición seco, y/o el flujo de la deposición húmeda.

2.7 Conclusiones parciales del Capitulo 2

Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados.

3.1 Análisis de las mediciones de contaminantes realizadas a los gases de la combustión.

Para determinar la composición de los gases de la combustión se utilizaron los analizadores **ECOM-SG plus** y **Testo300xl-1** equipos estos modernos y de gran precisión, que tienen la posibilidad de medir las concentraciones de CO, SO_2, NO_x y los % CO_2 y O_2 en los gases de la combustión y su temperatura, además de cuantificar otras variables como temperatura ambiente, rendimiento, perdidas y coeficiente de exceso de aire. Los datos ofrecidos por estos analizadores son el resultado de análisis estadísticos programados en el equipo, esto lo logran a partir de la integración de un gran número de valores registrados en el equipo durante el tiempo de medición previsto por el especialista. Además la utilización de dos equipos nos permite corroborar la exactitud de los datos obtenidos en las mediciones al comparar el resultado de uno con el otro.

Es preciso señalar que los momento en que se realizaron las mediciones fueros estudiados previamente a fin de que estas llevaran a cabo el los momentos mas oportunos para lograr la representatividad temporal de estos en el funcionamiento de la planta.

A continuación se muestran la **tabla6**, 7 y 8 donde aparecen los resultados de las mediciones realizadas para cada grupo teniendo en cuenta las condiciones de trabajo explicadas en el capítulo 2.

Tabla # 6 : Datos obtenidos en las mediciones de los contaminantes a la salida de la chimenea del grupo 1.

Nº medición	UM	1(testo)	2(ecom)	3(testo)	4(ecom)	5(testo)	6(ecom)	7(testo)	8(ecom)
Fecha	_	25/03/03	01/04/03	01/04/03	08/03/03	08/04/03	16/04/03	16/04/03	16/04/03
Hora	_	2:35 PM	2:15 PM	2:27 PM	9:14 AM	9:20 AM	1:15 PM	1:22 PM	1:28 PM
Tem. gases salid.	ºC	393,9	411	412,8	347,6	350,4	377	380	386
Cont. O_2	%	12,4	12,3	12,4	13,4	13	13,2	12,8	12,4
Cont. CO_2	%	6	6,3	6,5	5,6	6,1	5,7	6,2	5,5
Cont. CO	mg/m^3	340	375	379,4	359,0	365,6	326	332	340
Pérdidas	%	32,3	33,8	32,6	32,7	29	34,4	30,5	36,6
Rendimiento	%	67,7	66,2	67,3	66,9	70,7	65,6	69,3	63,4
Exceso de aire	_	2,52	2,41	2,43	2,7	2,61	2,69	2,56	2,6
Tem. Ambiente	ºC	36,4	44	32,7	28,3	29	39	39,9	39
Cont. SO_2	mg/m^3	190	210	228,8	146,7	156,2	185,3	197,34	203,2
Temp. Inst.	ºC	35,8	_	34	_	35,2	_	33,8	_
NO_x	mg/m^3	973	1087	1108,5	817,3	870,3	897,26	955,5	984,55
Carga del grupo	%	43,40%	68,42%	69,72%	35,28%	35,76%	41,76%	42,87%	43,80%
	kW	288,6	455,0	463,6	234,6	237,8	277,7	285,1	291,3
Carga Máx. del Gr.	kW	665	665	665	665	665	665	665	665

Tabla # 6 : Datos obtenidos en las mediciones de los contaminantes a la salida de la chimenea del grupo 2.

Nº medición	UM	1(testo)	2(ecom)	3(testo)	4(ecom)	5(testo)	6(ecom)
Fecha	_	25/03/03	25/3/03	01/04/03	01/04/03	08/03/03	08/04/03
Hora	_	1:41 PM	1:46 PM	10:35 AM	10:41 AM	4:40 AM	4:44 PM
Tem. gases salid.	ºC	393,9	390,8	412,8	414,2	347,3	352,3
Cont. O_2	%	12,3	12,7	12,4	12	13,0	12,7
Cont. CO_2	%	6	5,5	6,5	6,53	6,0	6,2
Cont. CO	mg/m^3	338	332,2	375	379	130,0	131
Pérdidas	%	31,3	35,3	36	37,2	30,0	28,5
Rendimiento	%	68,7	65,0	64	62,8	70,0	71,5
Exceso de aire	_	2,5	2,6	2,3	2,2	2,7	2,59
Tem. Ambiente	ºC	36,4	35,6	31	31,2	33,0	33,6
Cont. SO_2	mg/m^3	187	175,6	185,2	184,3	84,5	88
Temp. Inst.	ºC	36,4	_	34	_	35,1	_
NO_x	mg/m^3	958	899,6	901,3	905,2	822,3	874,2
Carga del grupo	%	43,70%	43,46%	48,87%	49,62%	35,73%	35,94%
	kW	290,59515	289	325	330	237,6	239
Carga Máx. del Gr.	kW	665	665	665	665	665	665

Tabla # 7 : Datos obtenidos en las mediciones de los contaminantes a la salida de la chimenea del grupo 3.

Nº medición	UM	1(testo)	2(testo)	3(testo)	4(ecom)	5(testo)	6(testo)	7(testo)	8(testo)
Fecha	_	25/03/03	08/04/03	08/04/03	08/04/03	08/04/03	08/04/03	16/4/2003	16/4/2003
Hora	_	2:44 PM	11:50 AM	2:26 PM	2:36 PM	4:32 PM	4:50 PM	2:02 PM	2:10 PM
Tem. gases salid.	ºC	403,7	415,4	439,6	431	408,5	468,3	428,7	428,2
Cont. O_2	%	11,9	11,9	11,7	10,3	12,6	12,9	11,6	11,7
Cont. CO_2	%	6,7	6,9	7,1	7,8	6,4	6,1	7,1	7
Cont. CO	mg/m^3	370	378	387,8	390	374	372	384,4	381
Pérdidas	%	25,9	31	32,5	29	33	30,7	31	31,4
Rendimiento	%	70,4	68,9	67,3	71	67	68,9	68,8	68,5
Exceso de aire	_	2,3	2,3	2,25	1,96	2,49	2,61	2,22	2,26
Tem. Ambiente	ºC	36,9	35,2	32,7	36	31,5	32,4	35,5	35,5
Cont. SO_2	mg/m^3	200,2	227,1	251,7	253,2	213,65	201	244.45	239,3
Temp. Inst.	ºC	41,9	32,9	34,1	_	33,5	35,6	34,9	35,7
NO_x	mg/m^3	1029,02	1070,2	1152,7	1160	1049,61	1020	1116	1113
Carga del grupo	%	46,52%	49,64%	56,29%	57,00%	48,66%	46,95%	53,33%	52,58%
	kW	521,1	556,0	630,5	638,4	544,9	525,8	597,3	588,9
Carga Máx. del Gr.	kW	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120

Los gráficos que muestran el comportamiento de la carga en función del tiempo de trabajo y el momento en que se realizo la medición se muestran en el Anexo 6.

3.2 Resultados del Software ISCST3

A partir de las tablas 6,7 y 8 se realizó un análisis y se determinaron las mediciones bajo ciertas condiciones de carga que resultaban más significativas del tiempo y el régimen de trabajo de cada Grupo, con estos valores y teniendo en cuenta el flujo de los gases de la combustión medido de 1603 m^3/h para los grupos 1 y 2 y de 2748 m^3/h para el grupo 3 se obtuvieron los datos necesarios para la corrida del Software ISCST3, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Grupos 1 y 2		
Contaminante	55-75% Carga	35-55% Carga
	Flujo g/s	Flujo g/s
CO	0,169	0,148
SO2	0,102	0,088
NOX	1,194	1,024
CO2	1,553	1,482

Grupo 3		
	50-60% Carga	40-50% Carga
Contaminante	Flujo g/s	Flujo g/s
CO	0,296	0,283
SO_2	0,192	0,153
NO_X	2,137	1,908
CO_2	3,052	2,862

Estos datos de flujo de salida de los contaminantes, un mapa en Autocat del Cayo con todas las coordenadas y sus elevaciones de la zona junto a los datos meteorológicos tomados cada una hora durante un año en el área de estudio, de velocidad del viento, precipitaciones, temperatura ambiente y presión atmosférica, se le introdujeron al ISCST3 que basado en los modelos de dispersión que se relacionan a continuación determinó por cada 200 m la concentración máxima de NO_x, CO y SO_2 que puede ocurrir como promedio diario, mensual o anual en cada uno de esos puntos.

Modelos de dispersión empleados por el Software ISCST3 :

1. Final Plume Rise.
2. Stack-tip Downwash.
3. Buoyancy-induced Dispersion.
4. Use Calms Processing Routine.
5. Not Use Missing Data Processing Routine.
6. Default Wind Profile Exponents.
7. Default Vertical Potential Temperature Gradients.
8. "Upper Bound" Values for Supersquat Buildings.
9. No Exponential Decay for RURAL Mode

Los resultados que muestran la concentración para los puntos mas importantes se muestran en el Anexo 7.

Las áreas seleccionadas para medir la concentración por técnicas de inmisión y corroborar los resultados del software fueron el Hotel Las Dunas, la Base de Apoyo a la construcción y la entrada de la Central Diesel Eléctrica, por la importancia que tienen los mismos dentro del área en lo que respecta a flujo de personal e intereses económicos.

A continuación se muestran los valores de concentración promedio de 24 horas de los contaminantes analizados y las coordenadas de cada uno de estos punto obtenidos de la corrida del programa, para màs adelante comparar con los resultados de los valores medidos por inmisión, se dan además los valores máximos permisibles por la norma cubana .

Para el CO:

Lugar	**Coordenada X**	**Coordenada Y**	**Concentración Real µ/ m^3**	**Concentración por norma cubana µ/ m^3**
Hotel Dunas	699200	315700	1,428	3000
Punto Control P. Eléctrica	699500	314900	2,74	3000
Base de Apoyo	699935	314900	1,63	3000

Para el SO_2 :

Lugar	**Coordenada X**	**Coordenada Y**	**Concentración Real µ/ m^3**	**Concentración por norma cubana µ/ m^3**
Hotel Dunas	699200	315700	O,75	50
Punto Control P. Eléctrica	699500	314900	1,5	50
Base de Apoyo	699935	314900	1,34	50

Para los NO_x :

Lugar	Coordenada X	Coordenada Y	Concentración Real µ/ m^3	Concentración por norma cubana µ/ m^3
Hotel Dunas	699200	315700	3,27	40
Punto Control P. Eléctrica	699500	314900	8,1	40
Base de Apoyo	699935	314900	6,97	40

Como se puede apreciar los valores de las concentraciones provocadas por la Central eléctrica están muy por debajo de las normas cubanas para todos los contaminantes evaluados lo que nos demuestra que la planta esta ubicada de excelente forma pues siempre las concentraciones mas altas van a estar en el mar debido a que los vientos soplan por lo general hacia el mar alejando los contaminantes de las zonas de desarrollo turístico y de los lugares donde habitan la mayoría de los animales y las planta de este precioso ecosistema.

Por tanto la Central Eléctrica Cayo Santa María no esta provocando con sus emisiones gaseosas afectaciones de consideración a la salud de las personas que trabajan o visitan el Cayo, ni a los animales y plantas que habitan en esta zona del país.

3.3 Comprobación de los resultados del Software ISCST3.

En el estudio de contaminación del aire se realizaron pruebas de inmisión para determinar por la vía práctica cuales eran los niveles de SO_2 que estaban presentes en los tres puntos que seleccionamos y corroborar los resultados del Software de modelación empleado para estimar la dispersión de los contaminantes en todos los puntos de Cayo Santa María.

La toma de muestra del dióxido de azufre (SO_2) se realizó durante 30 días de forma continua en 3 puntos diferentes, utilizando el captador de pequeño volumen (CPV-8D/A) donado por el Gobierno de Cataluña .

En el punto 1: Al noroeste de la planta Geysel . (Garita del CVP).
Los análisis de SO_2 en este lugar dieron una concentración promedio en 7 días de 6,92 µ g / m^3.

En el punto 2: Al este de la planta Geysel (base de Apoyo)
La inmisión del SO_2 es de 2,3 µg / m^3 en esta zona y es menor que la del punto 1 pues esta mas alejada y al este de la planta.

En el punto 3 al Oeste de la planta Geysel (Hotel Sol Club Cayo Santa María) la inmisión de Dióxido de Azufre fue de cero µ g/ m^3.
No hay presencia de SO_2 en la atmósfera de este lugar pues la emisión de la planta es transportada y difundida en la atmósfera circundante a la misma sin influencia a esta distancia.

En la siguiente tabla # 8 se muestran los resultados obtenidos por las técnicas de inmisión y los obtenidos con el Software ISCST3.

Tabla # 8 : Resultados de las pruebas de inmisión y del simulador.

	Concentración de SO_2 en µ g /m^3 en el Punto 1	Concentración de SO_2 en µ g /m^3 en el Punto 2	Concentración de SO_2 en µ g /m^3 en el Punto 3
Técnicas de Inmisión	6,92	2,3	0
ISCST3	3,5	1,34	0,5

Los resultados de las mediciones de campo corroboran la validez del ISCST3 pues las concentraciones reportadas son muy similares máxime cuando los especialistas del Departamento de Medio Ambiente del gobierno de Cataluña señalan que son aceptables diferencias del orden de los 10 µ g /m^3 entre las inmisiones y los resultados del Software.

3.4 Análisis de los resultados del ISCST3.

El ISCST3 tiene entre sus opciones la graficación de los resultados de dispersión de los contaminantes, lo cual permite tener una visión mas clara de cómo se distribuyen espacialmente los contaminantes y estimar la concentración en el punto de interés, ubicándolo en la posición exacta.

En el gráfico aparece sombreado en diferentes colores las diferentes magnitudes de concentración según la escala que se da a la derecha.

A continuación se muestran los gráficos de dispersión con el valor más alto promedio de 24 horas para cada contaminante y el comportamiento de su concentración

Para el Monóxido de Carbono la dispersión se comporta como se muestra en la figura 9 que corresponde al día de máxima concentración promedio de 24 h es decir el máximo de primer orden en promedio de 24 horas.

El área que aparece coloreada es la de mayor concentración promedio, la concentración va desde 1 µg/m3 para el área sombreada en el primer tono de azul hasta 4.5 par el área sombreada en rojo donde se encuentra la la zona de mayor concentración promedio, fuera de lo zona coloreada las concentraciones están por debajo de 1, que es miles de veces por debajo de la norma cubana de calidad del aire por lo que su estudio no aportará ninguna conclusión de interés. En este gráfico se da además la localización y el valor del punto donde la concentración es máxima y pudiera a partir de aquí atendiendo al nivel de importancia de este punto decidirse la colocación de estaciones de pequeño volumen para medir la inmisión.

Este punto puede convertirse en un futuro en un episodio crítico de contaminación de mantenerse las mismas condiciones atmosféricas e incrementarse las emisiones de cargas contaminantes.

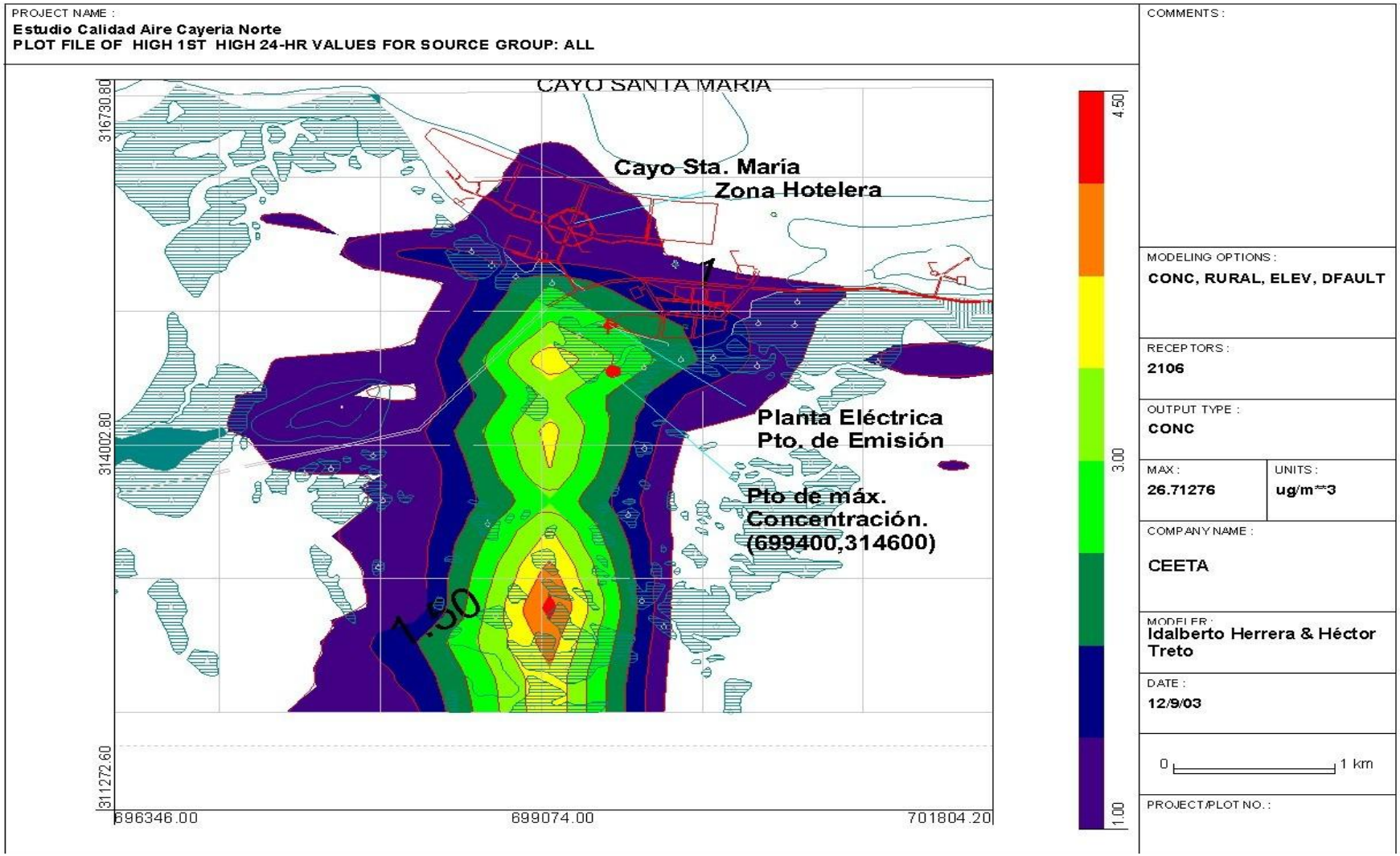


Figura # 9 : Dispersión del Monóxido de Carbono en la cayería Norte de Villa Clara

Como se aprecia en la figura 9 las zonas de mayor concentración de monóxido de carbono va a estar localizada al sur de la planta eléctrica en lugares no habitados por el hombre pues la mayoría es en mar o en los mangles. La mayor concentración alcanzada es de 26,71 µ g / m^3 en un punto y las franjas de igual concentración se varían desde 1 hasta 4 µ g / m^3, muy por debajo de lo establecido en las normas cubanas para este contaminante.

La dispersión de las emisiones de Dióxido de Azufre de la Planta Eléctrica se muestran en la figura 10 donde se representa el día de estudio donde existió una mayor concentración de SO_2 donde la máxima concentración alcanzada fue de 15,87 µ g / m^3 y los franjas mas definas de concentración variaban de 0,5 a 4 µ g / m^3 , todo por debajo de lo establecido como concentración máxima admisible. En el grafico se puede ver que las máximas concentraciones se obtienen en el mar.
Las concentraciones de estos contaminantes no afectan lo calidad de vida del lugar pues están en proporciones muy bajas.

En la figura 11 se muestra la dispersión de los óxidos de Nitrógeno en el día que mas alta estuvo la concentración de estos. El valor máximo fue de 76,45 µ g / m^3 y los valores de las franjas de igual concentración oscilan entre los 2 y los 18 µ m^3

En los Anexos 12,13,14 y 15 se muestra el comportamiento de estas dispersiones para los días y el mes de mayores concentraciones de SO_2 y NO_x.

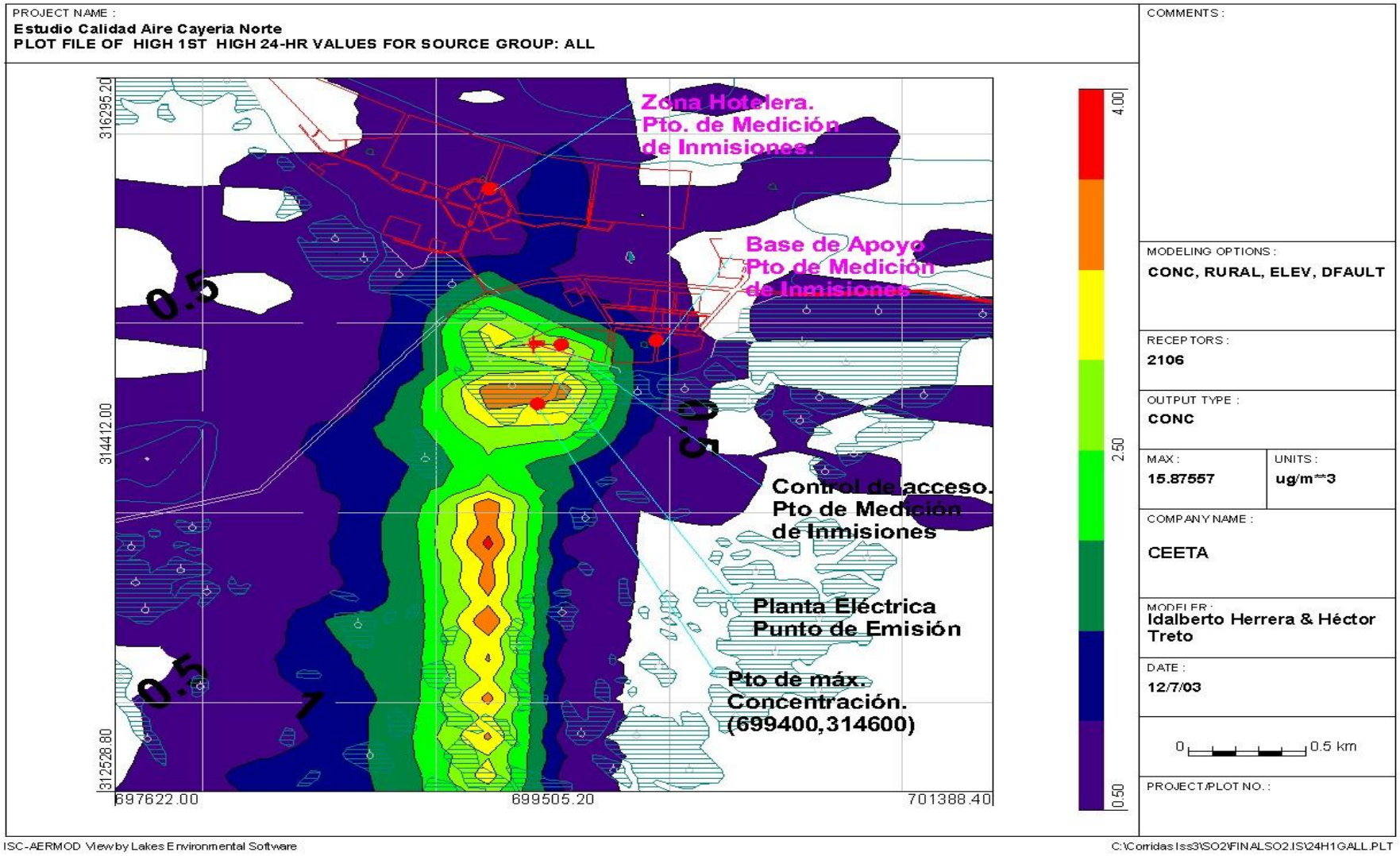


Figura # 10 : Dispersión del Dióxido de Azufre en la cayería Norte

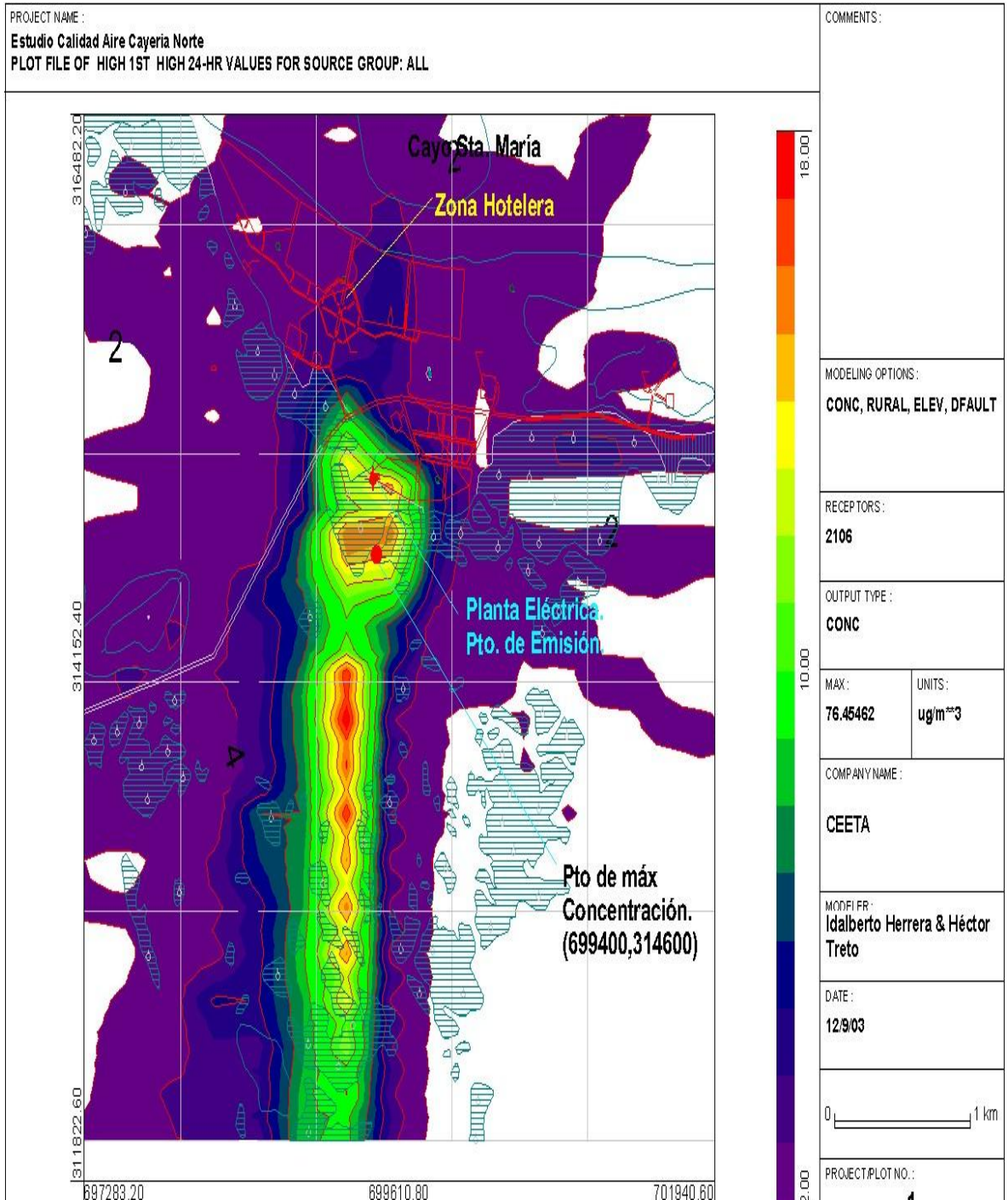

PROJECT NAME :
Estudio Calidad Aire Cayeria Norte
PLOT FILE OF HIGH 1ST HIGH 24-HR VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL
Cayo Sta. María
Zona Hotelera
Planta Eléctrica.
Pto. de Emisión
Pto de máx
Concentración.
(699400,314600)
316482.20
314152.40
311822.60
697283.20
699610.80
701940.60
18.00
10.00
2.00
COMMENTS :
MODELING OPTIONS :
CONC, RURAL, ELEV, DFAULT
RECEPTORS :
2106
OUTPUT TYPE :
CONC
MAX :
76.45462
UNITS :
ug/m**3
COMPANY NAME :
CEETA
MODELER :
Idalberto Herrera & Héctor Treto
DATE :
12/9/03
0
1 km
PROJECT/PLOT NO. :

Figura # 11 : Dispersión de los Óxidos de Nitrógeno en la cayería Norte

Conclusiones:

1. Los resultados obtenidos de la aplicación del ISCST3 y los resultados obtenidos de las mediciones de algunos puntos con técnicas de inmisión se corresponden plenamente, lo cual satisface la expectativa científica.
2. Los gráficos de dispersión de los contaminantes NO_x, SO_2 y CO obtenidos a partir del software ISCST3 muestran con rigor científico y precisión la dispersión precedentes en esta zona y además novedoso para Cuba.

3. una para cada contaminante y su comparaciàon cin la norma cubana y otras normas .
4. Se realizo un estudio de contaminaciàonaciàon atmosfàerica y de un ecosistema frágil y de altísimo valor econàomico para el país
5. se encuentran agunos puntoe de concetraciàon elevada lo cual puede reportarse como un episodio critico al alcanzar estas valos superiores en 10 veces a cucualquier otro.
6. se debe prestar atenciàon en los punto x,y en ello sse reporta valores de .
7. se reportan diàias de máximaconcentraciào el diàia
8. las horas màs cràiticas son

9.
10. se
11. Las concentraciones de Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre y de Óxidos de Nitrógeno en la atmósfera del Cayo Santa María, producto de las emisiones de la Central Diesel Eléctrica, están muy por debajo de los límites permisibles que establecen las normas cubanas de Calidad del aire.

12. No existen afectaciones de consideración a la salud humana, ni al ecosistema del Cayo Santa María, producto de las emisiones de los gases de la combustión de la Planta Eléctrica.

13. La Central Diesel Eléctrica esta ubicada en una posición que minimiza los impactos negativos que puedan provocar sus emisiones gaseosas.

14. El Software ISCST3 nos brinda una caracterización muy útil y precisa del efecto de la Central Eléctrica Cayo Santa María sobre la calidad del aire en este lugar.

15. 2 hectares de bosque por tonelada de CO2 al ano.

16. Aun cuando las fuentes diesel es alto conaminante la emisione spara el caso especàidfico de estudio no sobrepasan las normas de sostenibilidad dado que las emisione sal ano son de tanto y la capacidad de absorciàon al ano es de tanto.

Recomendaciones

1. Continuar realizando estudios anuales sobre la influencia de la Central Eléctrica Cayo Santa María en la calidad del aire de esta zona.

2. Mantener el cuidado y la excelencia en los mantenimientos que hasta ahora se ha tenido con la Planta Eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahrens, C.. *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere.* Minneapolis Edition 1993.
2. Air Quality Index (AQI). Disponible en Internet, sitio: www.epa.gov/airnow.htm. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba.
3. Álvarez, J. Enfermedades Profesionales en Cuba. Editorial Científica Técnica. Ciudad Habana. 1987.
4. Andrews, C. Buist, S. Chaitman, B. Strieder, D.: Guidelines as to What Constitutes and Adverse Respiratory Health Effect, with Special Reference to Epidemiologic Studies of Air Pollution. Am Rev Respir Dis 1998.
5. Anural, B.: Problemas de vivir entre malos aires, Pagina /12, Buenos Aires, 13/8/98.
6. Armendía, P., Fernández, R.: ¿Buenos Aires en Buenos Aires? , Ciencia Hoy, Volumen 6, N°31, Buenos Aires, 1995.
7. Arniella, J. Consumos de portadores energéticos y valoración de las emisiones de Dioxido de Carbono. Tesis para optar por el grado científico de Master. 1998.
8. Ballester, F. Tenías, J. Pérez-Hoyos, S.: Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una introducción. Disponible en Internet, sitio: www.msc.es/revistas/resp/home.htm. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba.
9. Bascom, R. Bromberg, P.: Health effects of outdoor air pollution. Am J Respir Crit Care Med 1998;153(1):3-50.
10. Brown, L. La situación del mundo. Informe del World Watch Institute. Editorial Icara. Barcelona, España. 1996.

11. Brugger, E. Del desarrollo sostenible a la ecoeficiencia *Mapfre Seguridad No 52 . 1993.*

12. Burnett, R., Dales, R. Brook, J. Raizenne, M. Krewski, D.: Association between Ambient Carbon Monoxide Levels and Hospitalizations for Congestive Heart Failure in the Elderly in 10 Canadian Cities. Epidemiol 1996;8(2):162-7.

13. Capote R y Berazaín R Clasificación de las formaciones vegetales en Cuba. Revista Jardín. Botánico Nacional. Nacional #5 1984.

14. Castro, F. Discurso pronunciado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Rio de Janeiro. 1992.

15. Castro, F.: Energía Nuclear, ¿Peligro ambiental o solución para el siglo XXI?. Ediciones Mec Grafic S.A. Primera Edición, 1997. Italia

16. Celsi, S. Lacobucci A.: Química elemental moderna inorgánica, Kapeluz, Buenos Aires, 1990, p. 233.

17. Centro de Estudios y Servicios Ambientales VC. Informe de Monitoreo No 1 a Planta Diesel- Electrica de GEYSEL en el Cayo Santa Maria. 2002

18. Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA). Inspección Ambiental Estatal a la Cayería norte de Villa Clara. Informe final. 2002.

19. CESIGMA SA. Alternativas del proyecto pedraplén Cayo Santa Maria a Guillermo. 1998.

20. CITMA. Ley del Medio Ambiente. La Habana: Editoria Política Ambiental,

21. Colectivo de Autores . Composición Química del aire atmosférico seco,Handbook of Air Pollution. 1968.

22. Contaminacion Atmosferica. Disponible en Internet, sitio: http://sima.com.mx. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba

23. Contaminación atmosferica. Disponible en Internet. Sitio Web www.conam.gob/pre/edu amb.

24. Contaminación del aire. Disponible en Internet. Sitio Web www. entox. ucdavis/edu. Centro de Sanidad Vegetal.

25. Contaminantes mas frecuentes, efectos y posibles tratamientos. Disponible en Internet. Sitio Web www.puc.cl-sw_educ\contam.

26. Cotton W.R., Pielke R.A.. "Human Impacts on Weather and Climate". Cambridge University Press .1995.

27. De Nevers N., “Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire”. McGraw-Hill, México (1998)

28. Delfino, R. Murphy-Multon, A. Becklake, M.: Emergency room visits for respiratory illness among the elderly in Montreal: Association with low level ozone exposure. Environ Res 1998.

29. Demillo, R. Como Trabaja el Tiempo. Editado por Davis Press. 1994.

30. Domenech, X.: Química Atmosférica -Origen y Efectos de la Contaminación-. Ediciones Miraguano, Madrid, 1995

31. Ebel, A. Friedrich, R.:Transport and chemical transformations of pollutans in the tropofera, EUROTRAC, Fraunhofer Institute (IFU). Germany. 1997

32. Erickson.J., “El efecto invernadero”, McGraw Hill, Madrid (1992).

33. Faires, M. Termodinámica. Edición Revolucionaria.Ciudad de la Habana. 1987.

34. Fernández, R.: El daño que provoca el smog, Clarín, Buenos Aires, 1997, p. 47.

35. Ferrer Martines,J. Auditoria energética en una industria del sector alimenticio. Revista Alimentación. Equipos y tecnologías (España) 1994.

36. How EPA calculates the Air Quality Index. Disponible en Internet, sitio: www.epa.vic.gov.au/aq/aqindex.htm. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba

37. Indice Metropolitano de Calidad del Aire. Disponible en Internet, sitio: www.ine.gob.mx. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba

38. Informe "Natural Selection: Evolving Choices for Renewable Energy Technology and Policy". Disponible en Internet, sitio: www.uneptie.org/energy/Publications.htm. Centro de Información y Gestión Tecnológica. CIGET. Villa Clara. Cuba

39. Jendritzky, G.: The atmospheric environment. An introduction. Experientia 1998.

40. Jovaj y Madlov. Combustiones en vehiculos automotores. Editorial MIR. Moscu. 1983.

41. Katsouyanni, K. Touloumi, G. Spix, C.: Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. Air Pollution and Health: a European Approach. BMJ 1997..

42. Loblad, G. Erisman, J.:Crítical loads for nitrogen. A workshop report, in Lokeberg, Sweden. 1992

43. Martin, J. Influencia de la contaminación del aire en la ocurrencia diaria del asma bronquial en la ciudad de Santa Clara. Tesis de Maestría. 2003.

44. Molina, R **,** Primeras evidencias científicas del efecto destructor de O_3 de los CFC usados en aerosoles, Revista Nature No 5, 1974.

45. *Moran, J. The Atmosphere and the Science of Weather.* PHS Publication*. New York. 1994.*

46. Morgensten, H. Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. Annu Rev Public Health 1995.

47. NC 39/1999. Calidad de Aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Modificativa de la NC 93-02-202:1987. Requisitos higiénico sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria.

48. Odriozola, V.: El caos anda sobre ruedas, el crecimiento del automóvil individual y la crisis del aire en las ciudades, Greenpeace Cono Sur, Buenos Aires, 1996.

49. Peters, A. Döring, A. Wichmann, H. Koenig, W.: Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? Lancet 1997.

50. Ricaño, S. Aspectos Generales Cayería Noreste de Villa Clara. Almest . Santa Clara 2003.

51. Rivas, S.: Contaminación Atmosférica. Monografía. IPSJAE, Cuba. 2000.

52. Seaton, A. MacNee, W,, Donaldson, K. Godden, D.: Particulate air pollution and acute health effects. Lancet 1995..

53. Senfeld, J.: Contaminación atmosférica, fundamentos físicos y químicos, Instituto de Tecnología, California, Edición Española, Madrid, 1998 p. 63.

54. Seoanez, M.: Ingeniería Medioambiental Aplicada. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona. España. 1997

55. Sibila, C.: Un gas altamente tóxico, Clarín, Buenos Aires, 1997, p. 43.

56. Solicitud de Licencia Ambiental Líneas de distribución eléctrica soterradas Cayo Santa María .Grupo de Estudios Ambientales CITMA Villa Clara,2001.

57. Sunyer, G. Katsouyanni, K. Zmirou, D.: Short-term Effects of Ambient Oxidant Exposure on Mortality: A Combined Analysis within the APHEA Project. Am J Epidemiol 1997.

58. Vaquer, J. Tesis de Maestría " Empleo de Gases como combustibles en motores de combustión". 2002.

59. Vide J.M., "Fundamentos de Climatología Analítica", Editorial Síntesis, Madrid (1991).

60. Wark, K.: Contaminación del Aire - Origen y Control -. México, 1990.

61. Williams, J. *The Weather Book.* USA Today. Nueva York: Random House 1992.

62. World Heath Organization (WHO), editor.Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications European Series nº 23. Copenhagen: 1990.

ANEXO 1 Monitoreo de la planta Diesel eléctrica Cayo Santa María

La construcción de la planta Geysel se realizó, según la clasificación de la vegetación natural de Capote y Berazaín (1984), en un Matorral Xeromorfo Costero-Subcostero entre dos franjas de mangle y próximo a una pequeña laguna en la porción sur oeste de Cayo Santa María. Debido al desbroce total de la vegetación natural durante las obras constructivas, solo se encuentra una pequeña parte de este tipo de matorral en la región posterior de la planta. A ambos lados de la misma predomina la vegetación de manglar con algunos elementos del matorral y otras especies introducidas (herbáceas fundamentalmente) producto de la actividad antrópica en el lugar. La presencia de especies nativas es más evidente en el lateral derecho, donde se encuentra una estrecha franja de vegetación original, aunque entre esta y el manglar existe una amplia brecha aparentemente carente ya de uso.

Para el análisis de la diversidad de la flora, el muestreo se realizó en una parcela de 10x10 m ubicada en el área de matorral natural que se ubica en la parte posterior de la instalación. También se realizaron dos transectos en los alrededores de la instalación para determinar las especies presentes en la zona de estudio. En el interior de la misma se realizaron recorridos para determinar las especies ornamentales utilizadas con estos fines. Las especies vegetales se identificaron a través de la consulta de la Flora de Cuba de Alain (1942), León y Alain (1953) y Alain (1953,1955,1957 y 1974), de material de herbario y de otros especialistas. Las especies nativas de Cayo Santa María se determinaron atendiendo a los criterios de Noa *et al*. (2001). Los usos así como otras características de las especies fueron tomados de Roig T (1960,1965 y 1974) y Ordetx S (1978).

Con el análisis de las muestras tomadas en la parcela realizada en el Matorral se determino la presencia de 17 familias en esa formación vegetal, con 20 especies pertenecientes a 19 géneros (Tabla 1). La familia con mas número de especies es la Mimosaceae con tres, de las que dos de ellas son del genero *Pithecellobium*, el único con mas de una especie. En esta formación vegetal no se encontró ninguna especie introducida, demostrándose el buen estado de conservación de esa área. No obstante por su pequeña extensión es necesario velar por la protección de la zona y tomar medidas encaminadas a lograr una extensión del matorral hasta la cerca perimetral.

Por otra parte en los transectos realizados en los laterales de la instalación se colectaron un total de 40 especies pertenecientes a 37 géneros de 24 familias (Tabla 2). Las familias mas representadas son Poaceae y Asteraceae con siete y cuatro especies respectivamente. Los géneros con mas especies son *Cyperus*, *Chamaecyse* y *Setaria*. Estas son plantas de hábitos herbáceos y de rápida propagación que han aumentado considerablemente su número de individuos. Del total de especies determinadas el 47,50% corresponde a plantas introducidas, lo que esta dado por la intensa actividad antrópica en la zona debido a las labores de construcción. El incremento es muy evidente en la familia Poaceae donde todos los representantes de la misma son introducidos. El desbroce de la vegetación, para la construccion de la planta, más alla de lo necesario trajo consigo la existencia de áreas despobladas que facilitaron el establecimiento de las especies introducidas.

Un aspecto relevante es que fue posible constatar la presencia, alrededor de la cerca perimetral de la instalación, de varios individuos de aroma de costa o weyler (*Mimosa pigra* L.), algunos de los cuales se encontraban florecidos. Esta planta es un invasor extremadamente peligroso por su rápida propagación y difícil control una vez establecido.

En el frente de la instalación y dentro de la misma se determinó la presencia de 12 familias de plantas con 13 especies pertenecientes a igual número de géneros (Tabla 3). En estos lugares luego del desbroce y producto de la actividad antrópica se han establecido numerosas especies oportunistas cuyas diásporas han llegado al lugar; dentro de ellas se encuentran varias especies introducidas y otras nativas como el boniato de costa (*Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. ssp. brasiliensis (L.) Ooststr.).

En el interior de la instalación el número de especies introducidas se corresponde con el 46,15% por el empleo de especies ornamentales que no son autóctonas del cayo, y el uso de capa vegetal proveniente de tierra firme que porta un sinnúmero de diásporas de gramíneas fundamentalmente. Estas hierbas revisten las áreas verdes de la planta y potencialmente pueden extenderse a los exteriores del cayo en general por la gran capacidad de expansión que presentan. Estas especies pueden desplazar de su hábitat, debido a la competencia, a otras autóctonas del cayo que comparten similares requerimientos. Del total de especies utilizadas con fines ornamentales solo cuatro son nativas de la zona estudiada: lirio de costa

(*Plumeria obtusa* L.), almácigo (*Bursera simaruba* (L.) Sarg.), *Agave* sp. y *Psinodon dactilon*, esta ultima utilizada como césped.

CONCLUSIONES

- Existe una gran cantidad de especies introducidas en el área monitoreada por la acción antrópica.
- El Matorral Xeromorfo Costero-Subcostero se encuentra en buen estado de conservación, teniendo en cuenta que no presenta especies introducidas, pero se encuentra fragmentado.
- El desbroce indiscriminado del matorral para la construcción de la planta, así como el mantenimiento de las áreas exteriores desprovistas de vegetación facilitó el establecimiento de una gran cantidad de especies foráneas.
- No se utilizó la flora natural del cayo para acondicionar los jardines de la instalación.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente analizado es que se proponen un grupo de recomendaciones que permitirían disminuir en cierta medida el impacto de la actividad antrópica sobre la vegetación de la zona estudiada y lograr conservar aquellas zonas que todavía mantienen la vegetación original.

- Recorrer periódicamente las áreas interiores y exteriores de la instalación y eliminar todas aquellas especies invasoras como el romerillo (*Bidens pilosus* L.), aroma de costa o weyler (*Mimosa pigra* L.), dormidera (*Mimosa pudica* L.), pata de gallina (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.). Para eliminar dichas especies es necesario arrancarlas de raíz para evitar su reproducción vegetativa y posteriormente incinerarlas.
- No aplicar agentes químicos para el control de las plantas indeseables.
- Utilizar, considerando las nuevas concepciones del empleo de la flora con fines ornamentales, las especies propias del área y comenzar a sustituir paulatinamente las introducidas, para ello utilizar el Catálogo de plantas ornamentales, cayería norte de Villa Clara.

- Evitar el traslado futuro de suelo no perteneciente al cayo para la siembra de plantas ornamentales. En caso de ser necesario se utilizara capa vegetal de áreas aledañas que estén siendo alteradas.
- Diseñar una estrategia para lograr la extensión del matorral en las areas dañadas y están sin utilizar, previa consulta con personal especializado.

Familia	**Taxa**	**Endemismo**	**Usos**
Anacardiaceae	*Metopium toxiferum* (L.) Krug & Urb.		Med, Mad, Mel
Arecaceae	*Coccothrinax litoralis* León		
Asclepiadaceae	*Sarcostema clausum* (Jacq.) Roem. et Schult.		
Boraginaceae	*Bourreria succulenta* Jacq.var. *succulenta*		Med, Mad
Capparaceae	*Capparis ferruginea* L.		Med
Euphorbiaceae	*Ateramnus lucidus* (Sw.) Roth.		Med, Mad, Mel
Mimosaceae	*Pithecellobium keyense* Britton ex Britt. & Rose		Mel
Mimosaceae	*Pithecellobium unguis-cati* (L.) Mart.		Med, Mel
Mimosaceae	*Zapoteca gracilis* (Griseb.) Bässler		
Myrtaceae	*Eugenia foetida* Pers.		
Nyctaginaceae	*Guapira longifolia* Heimerl		
Orchidaceae	*Encyclia phoenicia* (Lindl.) Dressler	ECC y Or	Otr
Phytolacaceae	*Rivina humilis* L.		Med
Rhamnaceae	*Krugiodendron ferreum* (Vahl) Urb.		
Rubiaceae	*Casasia clusiaefolia* (Jacq.) Urb.		Med
Rubiaceae	*Chiococca alba* (L.) Hitchtc.		Med
Rutaceae	*Zanthoxylum flavum* Vahl		Mad, Mel
Sapotaceae	*Sideroxylon americanum* (Mill.) T. D. Penn.		
Theophrastaceae	*Jacquinia keyensis* Mez.		Otr
Zygophyllaceae	*Guaiacum sanctum* L.		Med, Mad

Tabla 2. Lista de especies de colectadas en los laterales de la planta diesel-eléctrica de Cayo Santa María.

Med: Medicinales; Mad: Maderables; Mel: Melíferas; Otr: Otros usos.

Familia	Taxa	Introducidas	Usos
Amaranthaceae	*Amaranthus spinosus* L.	x	
Anacardiaceae	*Metopium toxiferum* (L.) Krug & Urb.		Med, Mad, Mel
Arecaceae	*Coccothrinax litoralis* León		Otr
Asclepiadaceae	*Cynanchum caribaeum* Alain		
Asteraceae	*Bidens pilosus* L.	x	Med
Asteraceae	*Enhydra sessilis* (Sw.) D.C.	x	
Asteraceae	*Salmea petrobioides* Griseb.		
Asteraceae	*Sonchus oleraceus* L.	x	
Boraginaceae	*Bourreria succulenta* Jacq.var. s*ucculenta*		Med, Mad
Celastraceae	*Crossopetalum rhacoma* Crantz		Med
Combretaceae	*Languncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.		Med, Mad, Mel
Convolvulaceae	*Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br. ssp. brasiliensis (L.) Ooststr.		Med, Mel
Cyperaceae	*Cyperus fimbristile*	x	
Cyperaceae	*Cyperus sp.*	x	
Euphorbiaceae	*Chamaesyce sp1.*	x	
Euphorbiaceae	*Chamaesyce sp2.*	x	
Malvaceae	*Malacra sp.*	x	
Mimosaceae	*Mimosa pigra* L.	x	
Mimosaceae	*Pithecellobium keyense* Britton ex Britt. & Rose		Mel
Passifloraceae	*Passiflora cuprea* L.		Otr
Poaceae	*Andropogon glomeratus* (Walt.) B. S. P.	x	
Poaceae	*Setaria geniculata* (Lam.) Beauv.	x	
Poaceae	*Setaria sp.*	x	
Poaceae	*Eleusine indica* L.	x	
Poaceae	*Paspalum sp.*	x	
Poaceae	*Cenchrus sp.*	x	
Poaceae	*Chloris sp.*	x	
Portulacaceae	*Portulaca oleracea* L.	x	Med, Mel, Ot
Rhamnaceae	*Colubrina arborescens* (Mill.) Sarg.		
Rhamnaceae	*Reynosia septentrionalis* Urb.		Mad
Rhizophoraceae	*Rhizophora mangle* L.		Med, Mad, O
Rubiaceae	*Casasia clusiaefolia* (Jacq.) Urb.		Med
Rubiaceae	*Erithalis fruticosa* L.		Med, Mad
Rubiaceae	*Rachicallis americana* (Jacq.) Hitchc.		Otr
Rutaceae	*Zanthoxylum flavum* Vahl		Mad, Mel
Simaroubaceae	*Suriana maritima* L.		Med
Solanaceae	*Solanum bahamense* L.		
Sterculiaceae	*Walteria indica* L.	x	
Verbenaceae	*Lantana involucrata* L.		Med,Otr

Tabla 3. Lista de especies de colectadas en el interior de la planta diesel-eléctrica de Cayo Santa María.

Med: Medicinales; Mad: Maderables; Mel: Melíferas; Otr: Otros usos.

Familia	**Taxa**	**Introducidas**	**Usos**
Agavaceae	*Agave sp*		Med, Mel, Otr
Amaranthaceae	*Gomphrena decumbens* Moq.	x	
Apocynaceae	*Plumeria obtusa* L.		Med, Otr
Arecaceae	*Cocos nucifera* L.	x	
Asteraceae	*Cynereya sp.*		
Bromeliaceae	*Tillandsia fasciculata* Sw.		
Burseraceae	*Bursera simaruba* (L.) Sarg.		Med, Mad, Mel, Otr
Mimosaceae	*Mimosa pudica* L.		
Nyctaginaceae	*Bougainvillea spectabilis* Wild.	x	
Plumbaginaceae	*Plumbago capensis* Thunb.	x	
Poaceae	*Echinochloa colonum* (L.) Link.	x	
Poaceae	*Cynodon dactylon* (L.) Pers.		
Rubiaceae	*Ixora coccinea* L.	x	

Informe del monitoreo de los niveles de ruido efectuado en la estación de generación de electricidad de GEYSEL

El ruido es un sonido indeseable que no brinda información útil al trabajador y que pudiera originar daño a la salud e interferir las comunicaciones.

La onda sonora la puede se puede caracterizar por su amplitud y su frecuencia. La amplitud de la onda determina la intensidad y la presión acústica. La intensidad acústica es la cantidad de energía que transporta la onda sonora en la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie tomada perpendicularmente a la dirección en que se propaga.

Los niveles máximos e ruido, así como los aspectos de protección contra el ruido, constituyen requisitos higiénicos sanitarios que es necesario observar en los puestos y locales de trabajo con el objetivo de disminuir los efectos nocivos del ruido sobre los trabajadores que desarrollan su actividad laboral en los mismos.

Los valores máximo admisibles de los niveles de presión sonora para los medios de trabajo se establecerán en las normas correspondientes, de acuerdo con los valores que aparecen normados en la NC-19-01-04 de 1980.

La determinación de las características de ruido en los puestos de trabajo se realizara teniendo en cuenta lo planteado en las normas cubanas correspondientes.

Las mediciones de ruido se realizan con los siguientes objetivos:

Para el control del cumplimiento de las normas vigentes, comparando loa resultados con los niveles admisibles.

Para la ejecución de medidas destinadas a la reducción de la exposición al ruido de los trabajadores y para la evaluación de los resultados obtenidos de las modificaciones realizadas.

Los niveles de ruido constante en los puestos de trabajo se determinan mediante los niveles de presión sonora en decibeles (dB). En los casos de ruido no constante exceptuando los de impulso, la determinación se realiza mediante el nivel sonoro equivalente continuo expresado en dB.

Para la medición se empleara un sonómetro que garantice las mediciones en el intervalo de bandas de frecuencia media geométrica de 63 a 8000 Hz, o con filtro de ponderación A con un error de medición de hasta mas menos 2 dB.

Mediciones de niveles de ruido en la planta GEYSEL

Para efectuar las mediciones en la planta se siguió un plan de trabajo que incluyó los locales y zonas que se detallan a continuación:

1. Mediciones en la sala de control de proceso.
2. Mediciones en la oficina técnica.
3. Mediciones en la sala de máquinas.
4. Mediciones la parte posterior de la instalación (a 10 m del escape de los generadores)
5. Mediciones en los exteriores de la planta.

Es necesario señalar que la dirección de la unidad está muy interesada en los resultados de la evaluación, de común acuerdo con ellos se diseñó el plan de mediciones y se brindó por su parte toda la ayuda y la asesoría técnica necesaria para la realización del trabajo.

Las mediciones en exteriores se realizaron teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos que en la zona es desde el NE hasta el ESE.

Valores de las mediciones de ruido.

Tabla # 1 Niveles de ruido en la sala de control de proceso		
LeqT (dB)	LcpK (dB)	Observaciones
82.2	97.9	Generador #2
104.2	118.4	Generador #2 y sonido de la sirena de alarma
80.5	92.8	Generador #1 y 2
78.8	89.3	Generador # 3
83.6	101.8	Generador # 1, 2 y 3

Leyenda:

LeqT Nivel de presión sonora continuo equivalente (promedio de la presión acústica instantánea durante todo el tiempo de la medición.(dB).

LcpK Es el mayor valor absoluto de la presión sonora instantánea (dB).

Tabla # 2 Niveles de ruido en la oficina técnica		
LeqT (dB)	LcpK (dB)	Observaciones
84.2	90.6	Generador #2
84.5	92.1	Generador #1 y 2
83.9	94.6	Generador #1, 2 y 3

Tabla # 3 Niveles de ruido en la sala de máquina			
LeqT (dB)	LcpK (dB)	Generador #	Distancia al generador (m)
131.8	133.5	2	0.5
118.6	128.1	2	1
113.4	123.1	2	2
104.2	116.0	2	10
110.7	121.7	1 y 2	5
109.9	122.6	1 y 2	10
106.0	115.4	3	10
108.7	121.9	1, 2 y 3	10

Tabla # 4 Nivel de ruido en la parte posterior de la instalación (a 10 m del escape de los generadores)		
LeqT (dB)	LcpK (dB)	Observaciones
102.2	112.9.	Generador #2
111.9	123.2.	Generador #1 y 2
108.5	122.9	Generador #3
120.2	123.2	Generador # 1, 2 y 3

Leyenda:

LeqT Nivel de presión sonora continuo equivalente (promedio de la presión acústica instantánea durante todo el tiempo de la medición.(dB).

LcpK Es el mayor valor absoluto de la presión sonora instantánea (dB).

Tabla # 5 Nivel de ruido en los exteriores de la planta.			
Dirección	Distancia (m)	LeqT (dB)	LcpK (dB)
NE	50	74.0	88.6
NE	100	73.7	87.8
NE	200	67.2	81.0
NE	300	69.3	92.2
NE #	400	78.7	96.8
NE #	500	81.6	94.7
SW	50	92.4	101.9
SW	100	83.6	98.7
SW	200	75.3	87.1
SW	300	71.5	84.0
SW	400	63.0	80.0
SW	500	61.4	81.3
ESE	100	80.5	90.4
ESE	200	76.0	91.6
ESE	300	70.4	89.1
ESE	400	68.6	93.6
ESE #	500	68.0	94.3
WNW	100	76.2	90.1
WNW	200	74.6	88.2
WNW	300	65.9	84.0
WNW	400	63.3	76.2
NW	200	70.4	88.2

Leyenda:

LeqT Nivel de presión sonora continuo equivalente (promedio de la presión acústica instantánea durante todo el tiempo de la medición.(dB).

LcpK Es el mayor valor absoluto de la presión sonora instantánea (dB).

Análisis de los resultados.

De la tabla # 1 se observa que los valores normales de ruido en este local son inferiores a los niveles máximos que se establecen en la norma cubana 19-01-04 de 1980,(85 Db). El local se encuentra protegido, por lo que al entrar nuevos equipos en funcionamiento no se incrementa de forma significativa el nivel de ruido, las mediciones se efectuaron con las posibles combinaciones de operación del equipamiento.

Observe la medición # 2 de la tabla # 1, el valor de LeqT es de 104,2 (valor superior a los 85 dB que se establecen en la NC 19-01-04), ésta medición coincidió con el funcionamiento de la sirena de alarma. No cabe duda que un medio de aviso ante emergencias es necesario pero consideramos que este sonido atenta contra la salud de los operadores.

En la tabla # 2 se reportan los valores correspondientes al local de la oficina técnica, en ningún caso se superan los 85 dB. No obstante observe que los valores son relativamente altos, por lo que deben evitarse otras fuentes de ruido que hagan ascender dichos valores. En el local deben permanecer solamente las personas para las que fue diseñado.

Los valores correspondientes a la sala de máquina aparecen reportados en la tabla # 3, observe que todos los valores de ruido superan lo establecido en la norma cubana (85 dB.). Se reportan mediciones para todas las posibles combinaciones tecnológicas, así como a diferentes distancias a los equipos generadores. Aunque en todos los puntos del local el ruido es superior al permisible, al acercarnos a los generadores los niveles se incrementan de forma significativa, a distancias de 2 m ó menos los trabajadores deben permanecer sólo el tiempo imprescindible.

En la tabla # 4 aparecen reportados los valores de ruido en la parte posterior de la planta, en la zona aledaña a los escapes de los generadores. Note que los valores en todos los casos supera los 100 dB, por lo que se considera una zona de alto riesgo para la salud humana .Es necesario una modificación

tecnológica en el área para poder reducir de forma significativa los niveles de ruido.

Se realizó un estudio de los niveles de ruido en las cercanías de la planta, esto se reporta en la tabla # 5, para ello se tomó en consideración la dirección predominante de los vientos en la zona,(desde el NE hasta el ESE).Observe como se atenúan los valores al alejarnos de la planta (como era de esperar), no obstante se observan irregularidades en el comportamiento motivado por la interferencia de otras fuentes de ruido. Las principales fuentes de ruido en las cercanías son:

La base de apoyo para el turismo (ó facilidades temporales)

El vial de acceso a la planta de generación e instalaciones aledañas.

Recomendaciones

- Realizar un estudio técnico para analizar la posibilidad de sustituir la alarma de la sala de control por otra tecnología que no sea tan dañina para la salud de los trabajadores.
- Mantener la obligatoriedad del uso de medios de protección contra ruidos en la sala de máquinas.
- Evitar, siempre que sea posible acercarse a los generadores en funcionamiento. De ser necesario, se usarán los medios de protección contra ruidos y se tratará que la exposición sea el menor tiempo posible.
- Continuar con la práctica de mantener todos los locales correctamente cerrados.
- Buscar una solución técnica para los escapes de gases de los generadores.(se sugiere el estudio de factibilidad técnico económica de equipos silenciadores, chimeneas, limpiadores de gases, ventiladores de tiro inducido, entre otros.)
- Realizar exámenes preempleo rigurosos a los trabajadores (tal y como tienen establecido),y mantener un chequeo sistemático sobre los mismos .Incluir en los exámenes las pruebas auditivas que sean necesarias.

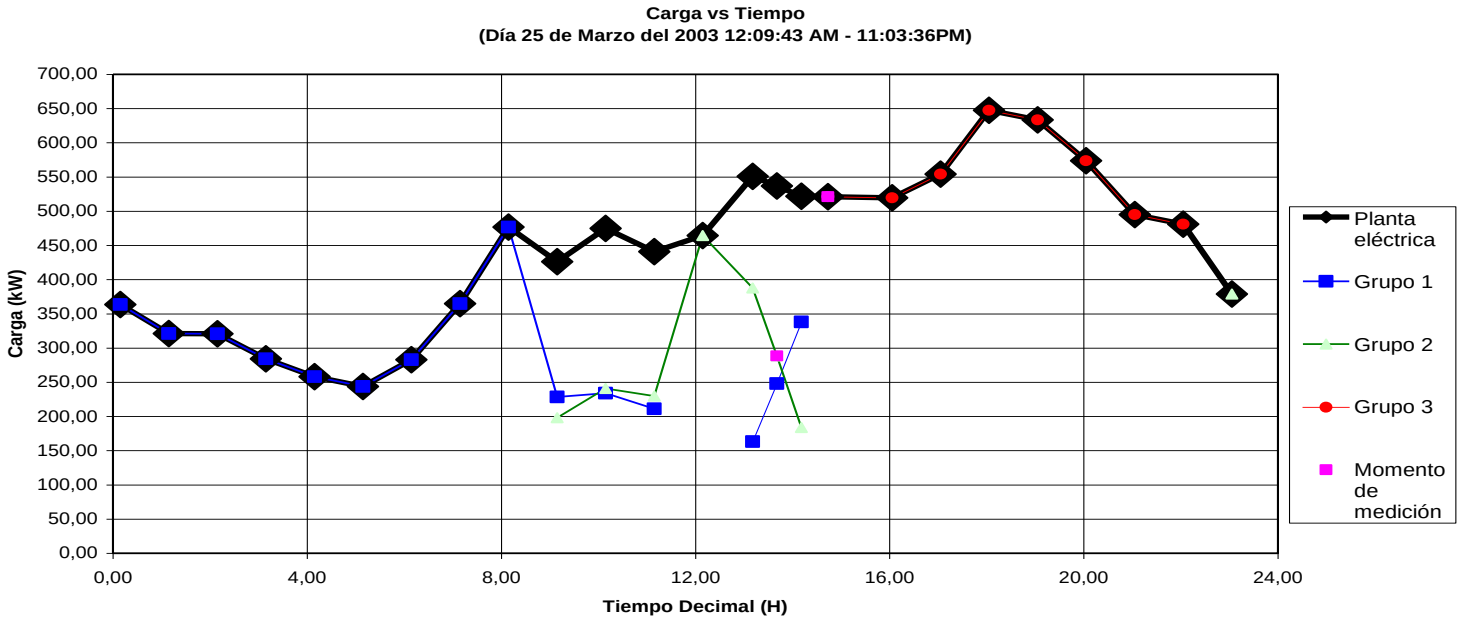
Bibliografía

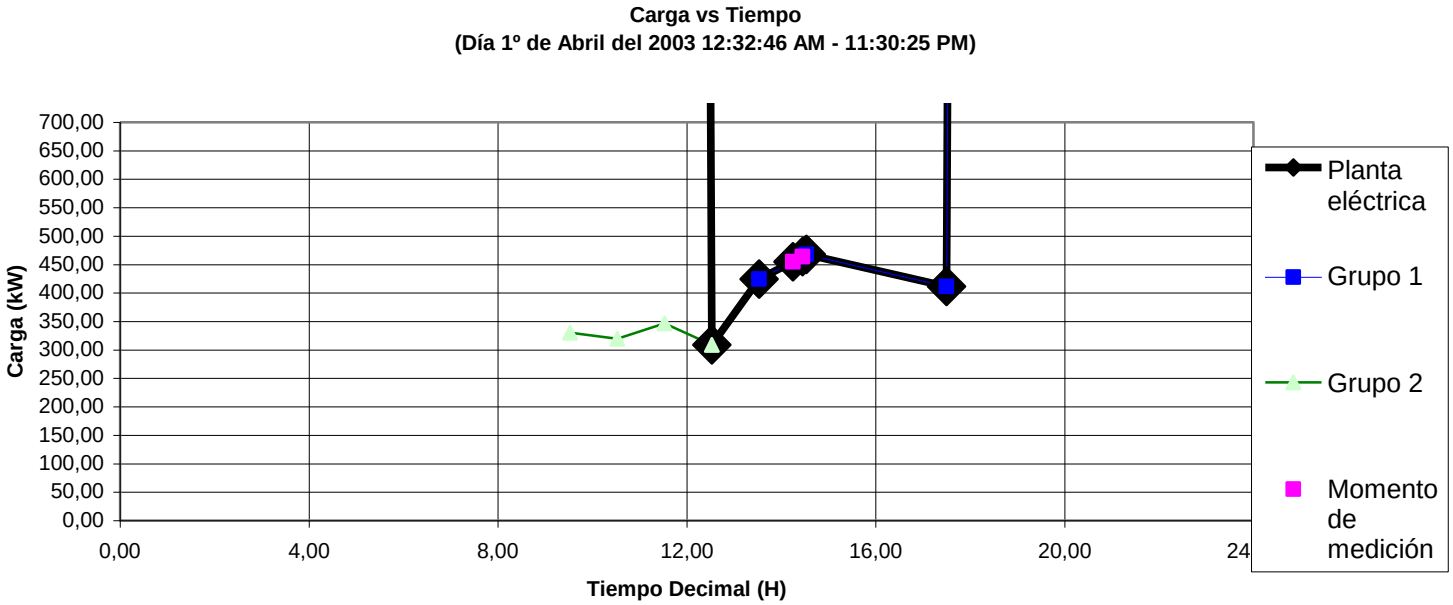
1. NC- 19-01.04 Requisitos generales higiénicos sanitarios 1980
2. NC- 19-01-06 Medición del ruido en lugares donde se encuentren personas.
3. NC- 19-01-14 Método de medición en los puestos de trabajo.
4. Ing Viña Brito y col. Manual de laboratorio de protección e higiene del trabajo. Editorial Pueblo y Educación, pag 3.

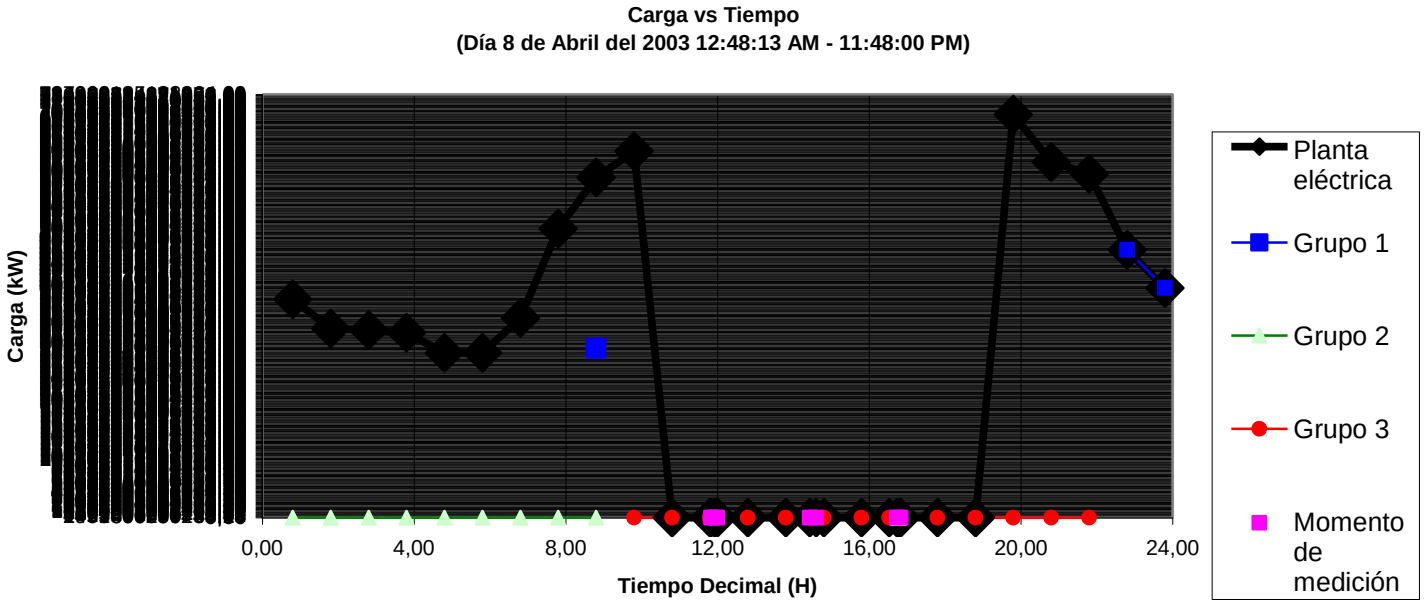
Anexo # 4 : Mw Generados y Consumo de Combustible por meses en la Central Diesel Eléctrica Cayo Santa María.

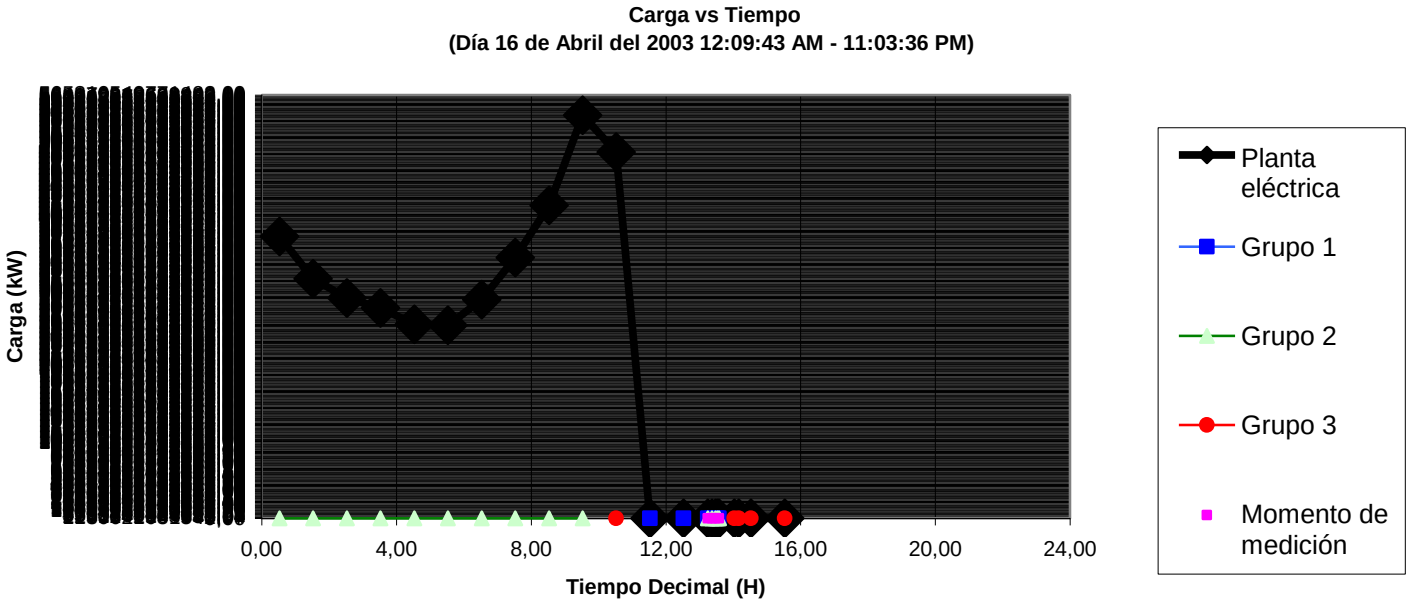
MES	MW GENERADOS	CONSUMO DE COMBUSTIBLE(L)
enero-02	203	67572
febrero-02	187	60101
marzo-02	263	82016
abril-02	273	85401
mayo-02	215	68722
junio-02	213	67953
julio-02	310	95949
agosto-02	302	94832
septiembre-02	210	63237
octubre-02	200	68390
noviembre-02	220	68277
diciembre-02	234	79800
enero-03	197	66291
febrero-03	257	80045
marzo-03	352	105915
abril-03	309	91116

ANEXO 6 : Distribución de las cargas de la planta vs Tiempo de trabajo para los días en que se midió .

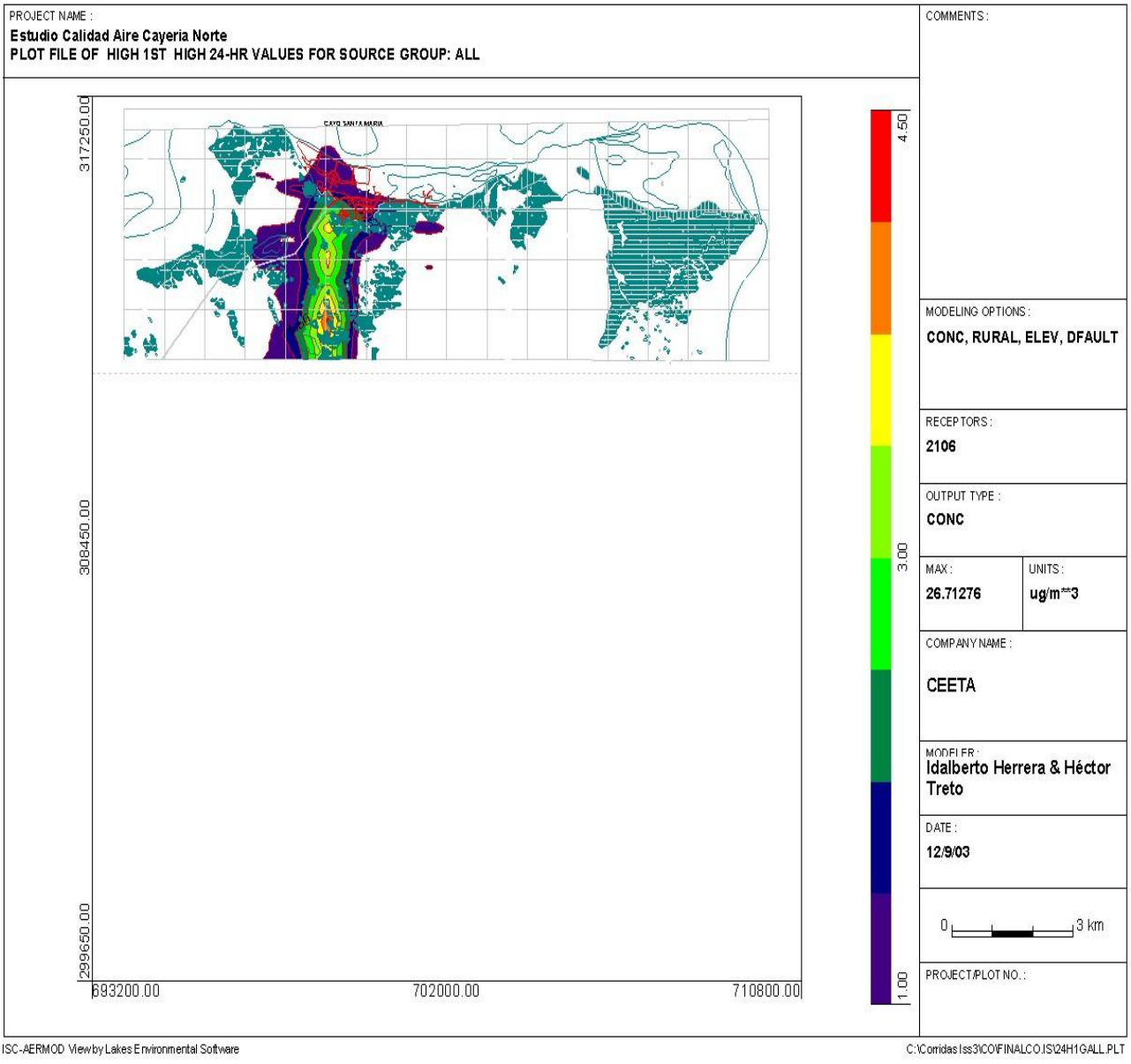



Carga vs Tiempo
(Día 1º de Abril del 2003 12:32:46 AM - 11:30:25 PM)
Carga (kW)
700,00
650,00
600,00
550,00
500,00
450,00
400,00
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
0,00
4,00
8,00
12,00
16,00
20,00
Tiempo Decimal (H)
Planta eléctrica
Grupo 1
Grupo 2
Momento de medición

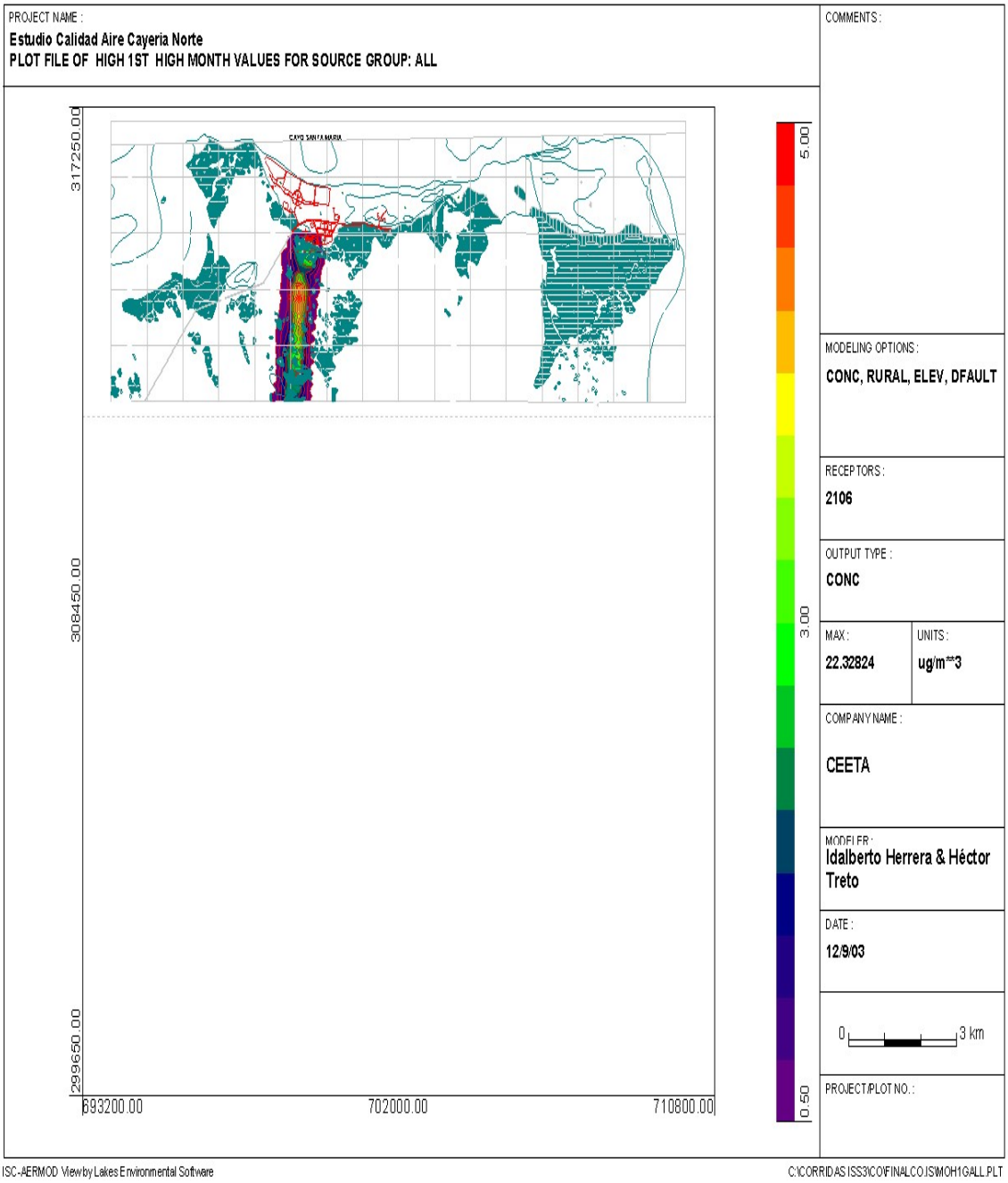
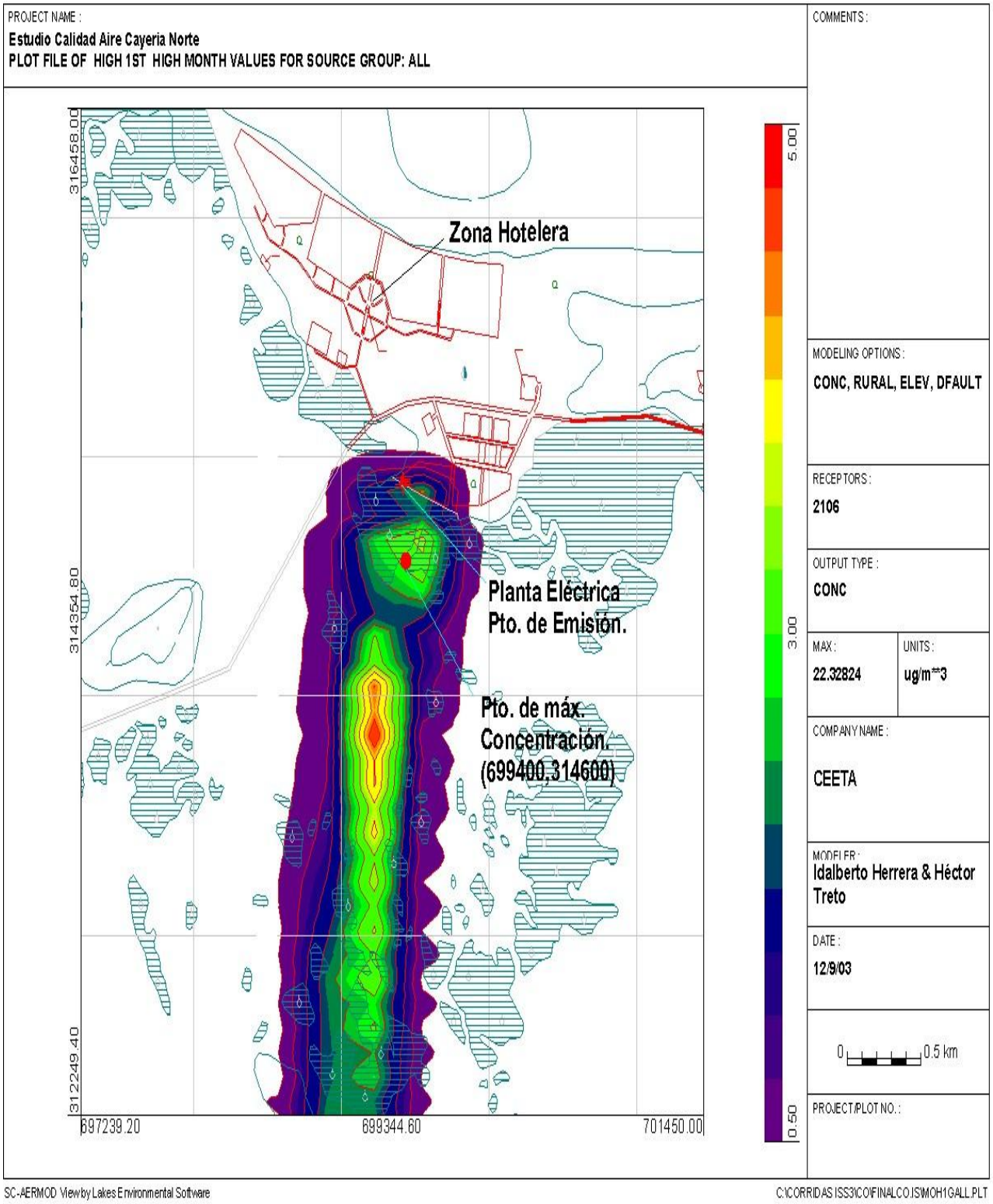

Carga vs Tiempo
(Día 8 de Abril del 2003 12:48:13 AM - 11:48:00 PM)
Carga (kW)
0,00
4,00
8,00
12,00
16,00
20,00
24,00
Tiempo Decimal (H)
Planta eléctrica
Grupo 1
Grupo 2
Grupo 3
Momento de medición


Carga vs Tiempo
(Día 16 de Abril del 2003 12:09:43 AM - 11:03:36 PM)
Carga (kW)
0,00
4,00
8,00
12,00
16,00
20,00
24,00
Tiempo Decimal (H)
Planta eléctrica
Grupo 1
Grupo 2
Grupo 3
Momento de medición

Anexo # 10 : Dispersión del CO producido por la Central Diesel Eléctrica Cayo Santa María el día de mayor concentración registrada.



Anexo # 11 : Dispersión del CO durante el mes de máxima concentración.



Anexo # 11 : Dispersión del CO durante el mes de máxima concentración.(vista ampliada)