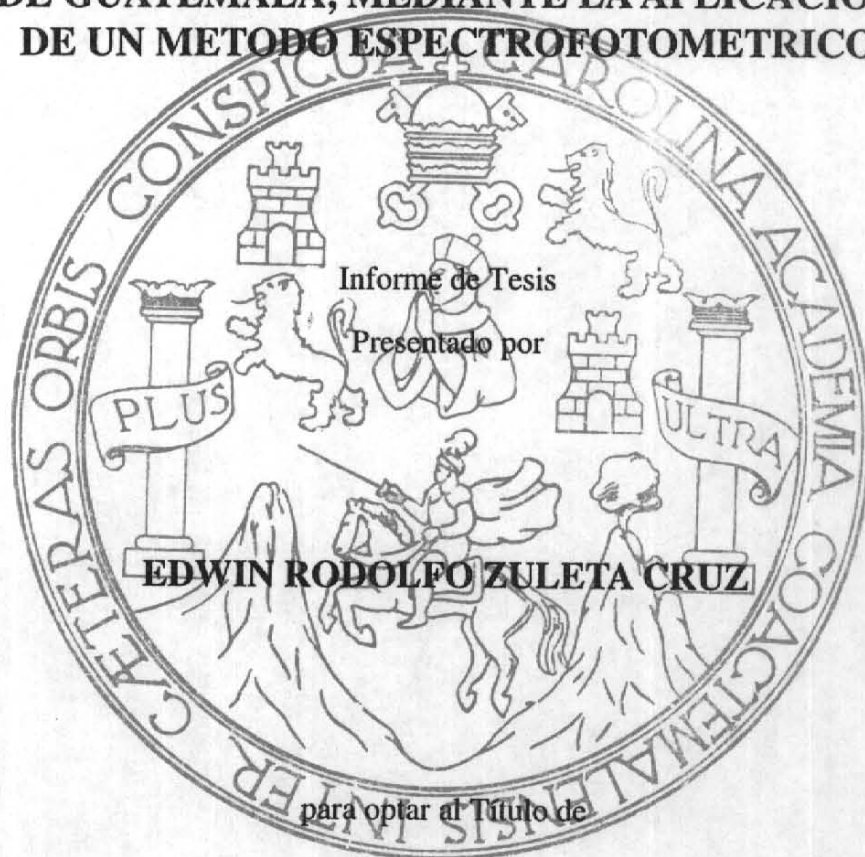


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

248

**DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE OZONO
PROVOCADA POR LAS EMISIONES DE VEHICULOS
AUTOMOTORES, EN UN PUNTO DE LA CIUDAD
DE GUATEMALA, MEDIANTE LA APLICACION
DE UN METODO ESPECTROFOTOMETRICO**



LICENCIADO EN QUIMICA

GUATEMALA, MAYO DE 1998

of
2.4

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

DECANO	LIC. JORGE RODOLFO PEREZ FOLGAR
SECRETARIO	LIC. OSCAR FEDERICO NAVE HERRERA
VOCAL I	LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA GALVEZ
VOCAL II	LIC. GERARDO LEONEL ARROYO CATALAN
VOCAL III	LIC. RODRIGO HERRERA SAN JOSE
VOCAL IV	BR. HERBERTH RAUL AREVALO ALVARADO
VOCAL V	BR. MANOLA ANLEU FORTUNY

TESIS DEDICADA A:

- JESUCRISTO, MI UNICO SEÑOR Y SALVADOR.

"Poned la mira en las cosas de arriba, no en las de la tierra. Porque habéis muerto, y vuestra vida está escondida con Cristo en Dios. Cuando Cristo, vuestra vida, se manifieste, entonces vosotros también seréis manifestados con él en gloria" (1 Col 3:2-4).

- A toda mi familia y amigos, que fueron instrumento del Señor para la realización de este proyecto.

MI AGRADECIMIENTO SINCERO A LAS SIGUIENTES PERSONAS E
INSTITUCIONES POR SU INESTIMABLE APOYO Y COLABORACION:

Licda. Thelma Alvarado de Gallardo y Licda. Yolanda de
Chávez, Laboratorio para Monitoreo del Aire.

Licda. Jeannette Wyler y Licda. María Eugenia Domínguez,
Departamento de Análisis Inorgánico.

Licda. Diana Pinagel, Departamento de Química Orgánica.

Lic. Miguel Angel Herrera, Director de la Escuela de Química.

INDICE

	Pagina No.
(1) RESUMEN	1
(2) INTRODUCCION	3
(3) ANTECEDENTES	4
(4) JUSTIFICACIONES	20
(5) OBJETIVOS	22
(6) HIPOTESIS	23
(7) MATERIALES Y METODOS	24
(8) RESULTADOS	34
(9) DISCUSION	42
(10) CONCLUSIONES	44
(11) RECOMENDACIONES	45
(12) REFERENCIAS	46
(13) ANEXOS	48

(1) RESUMEN

La presente investigación aborda uno de los tantos problemas de contaminación ambiental que nos aqueja en la actualidad, como lo es la posible generación de smog o niebla fotoquímica a partir de las grandes descargas de subproductos de combustión provenientes de fábricas y vehículos, en combinación con la irradiación de la luz solar.

El estudio consistió en la medición espectrofotométrica inmediata de los niveles de concentración de ozono (como indicativo de actividad fotoquímica), al mediodía, dos veces por semana, durante siete meses y medio, en un punto de elevado flujo vehicular (Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores ubicada en la Avenida Petapa, Escuela para Formación de Profesores de Enseñanza Media -EFPEM-). Al completar el estudio, se comprobó que dichas concentraciones se encuentran por debajo de la normativa máxima internacional de $150 \mu\text{O}_3/\text{m}^3$.

También fueron efectuadas cuantificaciones paralelas en un punto de escaso flujo vehicular, identificado como Punto de Referencia (Garita de Control de Ingreso de Automóviles al Parqueo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia - Edificio T-12, USAC), comprobando estadísticamente que la concentración de ozono en este punto es menor a la registrada en la Estación de la Avenida Petapa. Por lo anterior, se recomienda realizar este tipo de monitoreo en otras arterias de la ciudad capital, con el fin de evaluar la posibilidad de

generación de smog fotoquímico en éste y otros sectores de la ciudad capital, con el propósito de diseñar sistemas que permitan el control y regulación de las emisiones industriales y vehiculares en nuestro país, antes que fácilmente alcancemos y sobrepasemos las normativas internacionales por falta de medidas preventivas.

(2) INTRODUCCION

Desde su descubrimiento en los años sesenta⁽¹⁾, el ozono ha sido estudiado y cuantificado como un indicador del grado de actividad fotoquímica en la atmósfera, pues es un componente principal de la denominada niebla fotoquímica o smog fotoquímico.

La causa de este fenómeno radica en la constante emisión de grandes cantidades de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y residuos de hidrocarburos mal combustionados hacia el medio ambiente, provenientes de fábricas y vehículos automotores. Por ello, dicho problema se agudiza en las ya muy transitadas arterias de nuestra Ciudad Capital, donde se conjugan, la irradiación de luz solar con la emisión de los contaminantes primarios necesarios para desencadenar un sin número de reacciones fotoquímicas, formadoras de smog.

En la presente investigación, se determinó la concentración de ozono en forma inmediata, aplicando un método espectrofotométrico, durante seis meses en una estación fija ubicada en la Avenida Petapa. Este estudio permitió determinar que los niveles de concentración de ozono en dicho punto, no sobrepasan la normativa internacional de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en una hora (indicación de un problema serio de contaminación por smog fotoquímico), pero asimismo confirma el efecto agudizante del flujo vehicular en la concentración de este contaminante.

(3) ANTECEDENTES

(3.1) FUENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE:

En Estados Unidos cada año se emite alrededor de una tonelada de contaminantes del aire por persona, lo que suma un total de 200 millones de toneladas anuales de diferentes tipos de desechos liberados a la atmósfera. Estos provienen principalmente de los vehículos de transporte, las plantas de energía eléctrica, los procesos industriales y la incineración de desechos sólidos. En la tabla No.1 (anexo 1) se presenta una lista de las fuentes de contaminantes y el porcentaje con que cada una de ellas contribuye a la cantidad total de contaminación⁽²⁾.

Los contaminantes del aire son sustancias -gases, polvo y partículas en aerosol- que se encuentran presentes en la atmósfera y cuya excesiva concentración puede afectar adversamente al hombre y su medio ambiente. La mayoría de estas sustancias -dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, etc.- se encuentran en bajas concentraciones y son incluso parte de ciclos naturales de formación y decaimiento (los niveles naturales de concentración de algunos gases naturales y sus tiempos de residencia aproximados, pueden consultarse en la tabla No.2 (anexo 2)). Sin embargo, se consideran como contaminantes a las altas concentraciones de los mismos, generadas por procesos químicos y biológicos usados por el hombre⁽³⁾.

(3.2) FENOMENOS DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

Si las 600,000 toneladas de contaminantes del aire que se producen en Estados Unidos cada día se mezclaran por completo con

toda la masa de aire que cubre a este país, dichos contaminantes estarían presentes en concentraciones muy bajas. Sin embargo, esto no sucede en realidad, debido a la formación de bolsas de aire donde la concentración de contaminantes en una zona geográficamente limitada, da origen a un caso de contaminación de aire. Existen bolsas de aire en diferentes regiones geológicas y como resultado de las fluctuaciones climatológicas y los vientos, las mismas se pueden barrer horizontalmente de la región en que se acumulan hacia otras regiones de la atmósfera. Cuando este movimiento de las masas de aire no tiene restricciones, los contaminantes se dispersan con gran rapidez; sin embargo, los factores topológicos, tales como valles, colinas y montañas pueden restringir el movimiento de las mismas, sobre todo cuando los vientos son mínimos⁽²⁾.

Cuando una masa de aire dentro de una acumulación no se reemplaza, se le denomina "masa estancada". A menudo la masa de aire estancado permanece sólo durante varias horas, pero en ocasiones se puede mantener durante semanas enteras. En 1952 y 1962, las nieblas "mortales" de Londres fueron casos de contaminación del aire de esta índole. Los contaminantes (en su mayor parte óxidos de azufre) se acumularon dentro de una masa húmeda, fría e inmóvil de aire, que cubrió la ciudad durante varias semanas⁽⁴⁾. También puede citarse el episodio ocurrido en la ciudad de Los Angeles en los años sesenta, durante el cual se perdieron cientos de vidas humanas como consecuencia de una elevación severa en la concentración de contaminantes atmosféricos en esta ciudad⁽⁵⁾.

PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE LA SECRETARÍA DE SALUD PÚBLICA
Biblioteca Central

(3.2.1) INVERSIONES DE TEMPERATURA:

Cuando se calienta el aire cercano a la superficie terrestre, éste se hace menos denso, se eleva verticalmente y es substituido por aire fresco que proviene de regiones más altas en la atmósfera. Este movimiento vertical del aire superficial, puede dispersar los contaminantes hacia regiones más elevadas de la misma. Comúnmente la temperatura del aire disminuye con la altitud como puede apreciarse en la Fig. 1.a, (anexo 3). La masa de aire cercana a la superficie terrestre es más tibia, y a veces alguna masa fresca de aire entra a poca altura y se coloca debajo de la masa de aire tibio. Esto produce una capa de aire más fresco, bajo la capa del aire tibio. Como se ilustra en la Fig. 1.b (anexo 3), la capa de aire tibio queda atrapada entre la masa de aire fresco y el aire aún más fresco de las alturas. Este fenómeno se denomina "inversión de temperatura". Una inversión de temperatura se puede producir dentro de una acumulación de aire, lo cual daría origen a una masa de aire inmóvil donde pueden acumularse los contaminantes. Algunas veces la inversión puede persistir durante varios días. Con frecuencia las inversiones de temperatura ocurren durante días soleados y sin nubes que, como se verá más adelante, forman parte de los casos de contaminación más importantes⁽⁴⁾.

(3.3) EL SMOG FOTOQUIMICO:

Muchas ciudades amanecen con vientos calmados y un sol claro. Sin embargo, a medida que transcurre la mañana y se acerca el mediodía, una neblina desciende sobre la ciudad. La visibilidad se reduce, el parpadeo de los ojos y la respiración adquieren una sensación de ardor. En los Estados Unidos y México la concentración

llega a ser tan alta que la actividad en muchas escuelas se interrumpe y las autoridades recomiendan un mínimo de ejercicio. La ciudad está cubierta por smog fotoquímico, que consiste en distintas sustancias -gases y pequeñas partículas de líquidos- formadas a través de reacciones químicas impulsadas por la luz solar. El término "smog", deriva de la combinación de dos palabras inglesas: "smoke" (humo) y "fog" (niebla)⁽⁶⁾.

(3.4) GENERACION DEL SMOG

Los procesos de combustión (principalmente en los vehículos), liberan las sustancias o "contaminantes primarios" requeridos para la formación del smog, siendo éstos:

- 1.- Oxidos de nitrógeno (refiriéndonos a ellos como NO_x , para indicar la presencia de NO y NO_2).
- 2.- Hidrocarburos, los cuales pueden provenir incluso de otras fuentes ajenas a la combustión (por ejemplo, la evaporación de la gasolina en refineries y gasolineras, centrales de gas, etc.). El gas y aceite, son hidrocarburos que al quemarse completamente, en su mayoría se combinan con el oxígeno para formar CO_2 y agua; al mismo tiempo ocurren otras reacciones secundarias que generan otros hidrocarburos. Los nuevos hidrocarburos formados, tienden a ser muy reactivos y sufren diferentes reacciones químicas en el aire, produciendo compuestos extremadamente dañinos, dentro del smog fotoquímico⁽⁷⁾

Otras sustancias, como el monóxido de carbono y el dióxido de azufre, también reaccionan, pero no son tan importantes en la formación del smog, como los dos anteriores⁽⁷⁾.

Los "contaminantes secundarios", son aquellos formados a partir de las sustancias que fueron descargadas a la atmósfera. De éstos, los más indeseables son el ozono (O₃) y compuestos orgánicos como aldehidos, cetonas y peroxiacetilnitratos (PAN)⁽⁸⁾.

En la Fig. 2 (anexo 4), se muestra la relación característica mostrada entre los iniciadores del smog fotoquímico, durante un día en Los Angeles. Debe notarse que el pico correspondiente al NO, coincide con el aumento de tránsito por la mañana. La luz solar gradualmente hace que el NO y el oxígeno reaccionen entre sí, para formar NO₂, cuyo pico aparece a medida que la concentración de NO disminuye. Nuevamente bajo la influencia de la luz solar, el NO₂ reacciona para producir ozono, alcanzando éste su máxima concentración al mediodía. A pesar de que el NO es producido a lo largo de todo el día, su concentración permanece baja, al convertirse rápidamente en otras sustancias. Los niveles de concentración para NO₂ y ozono, se mantiene bajos el resto del día, por la misma razón⁽⁹⁾.

(3.5) FORMACION DEL SMOG FOTOQUIMICO

La energía proporcionada por la luz solar, hace que el NO₂ se separe en moléculas de NO y átomos de oxígeno:



Los átomos de oxígeno son mucho más reactivos que las moléculas de oxígeno, debido a que el átomo carece de dos electrones para completar su octeto, brindándole un estado energético muy especial.

Dos de ellos pueden combinarse para formar oxígeno:

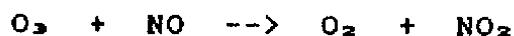


La probabilidad que tiene el átomo de oxígeno para atacar moléculas de oxígeno, es mucho mayor que la de atacar otros átomos de oxígeno. Por ello, se forma ozono con mayor facilidad:



La energía contenida en el oxígeno atómico, es transferida a un nivel adecuado en el ozono.

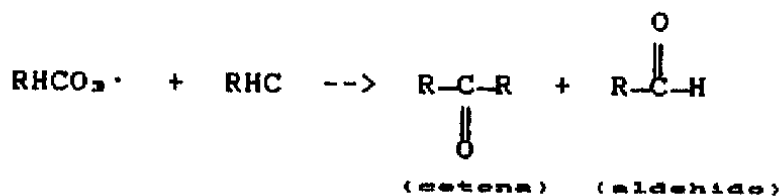
Normalmente, el ozono reaccionaría con el NO para formar más NO₂:



completando así el ciclo básico natural del NO₂ (ver Fig. 3.a, anexo 5). Sin embargo, tanto el ozono como el oxígeno atómico, pueden reaccionar con hidrocarburos provenientes de procesos de combustión, formando así, radicales libres (RHCO·):



Estos radicales, pueden reaccionar con otros hidrocarburos:



o pueden reaccionar con dióxido de nitrógeno para formar peroxiacetilnitratos (PAN):



Se concluye entonces, que el ciclo atmosférico natural del dióxido de nitrógeno, emplea tanto ozono como el que produce, y no

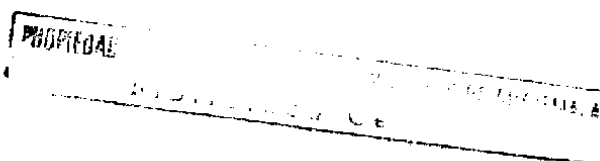
puede originar los niveles de ozono que se observan en el smog fotoquímico. El aumento en la concentración de ozono, se debe a que los hidrocarburos rompen el ciclo, participando en las reacciones químicas que permiten al óxido nítrico, convertirse en dióxido de nitrógeno, sin utilizar el ozono. El ciclo queda desbalanceado, y el monóxido de nitrógeno se vuelve a convertir en dióxido de nitrógeno a una mayor velocidad que con la que se rompe. El resultado neto es una acumulación de ozono y demás componentes del smog (ver Fig. 3.b, anexo 5)⁽⁴⁾.

El Gobierno Federal de los Estados Unidos, ha emitido estándares de calidad del aire, para los principales componentes del smog fotoquímico (tabla No. 3 (anexo 6)).

(3.6) EL OZONO

El hombre se ha interesado en el ozono atmosférico desde hace 100 años atrás, cuando C.F. Schönbein fué responsable de su descubrimiento, indicando su existencia en la atmósfera terrestre. El medidor empleado por Schönbein, consistió de papel impregnado con yoduro de potasio y almidón; durante años sus datos fueron cuestionados y sujetos a crítica, pues la reacción química empleada no era específica para el ozono⁽⁵⁾. El ozono es una forma alotrópica, tóxica y muy reactiva del oxígeno elemental, formada por tres átomos de oxígeno, de fórmula molecular O_3 ⁽⁶⁾. El ozono puede ser preparado en el laboratorio, pasando $O_2(g)$ a través de una descarga eléctrica.

En la atmósfera se le encuentra a una altura aproximada de 30 km, con una concentración máxima de 10 ppm. El interés por el ozono



a esa altitud, se centra en su habilidad para absorber la luz ultravioleta. Entre el 95 y 99% de la luz solar (en el rango de longitudes de onda entre 200 y 300 nm), se absorbe por el ozono de la alta atmósfera. Sin embargo, es posible encontrar pequeñas concentraciones de ozono, a nivel de la tropósfera (región de la atmósfera terrestre, que se extiende desde la superficie hasta una altura de aproximadamente 11 km)⁽¹⁰⁾. En el "smog fotoquímico", se registran altas concentraciones de ozono, y por tanto, la medición de estos niveles permite determinar el grado de actividad fotoquímica.

(3.7) TOXICIDAD DEL OZONO

El ozono es un irritante pulmonar, que afecta las membranas mucosas, nariz y garganta. Puede producir edema pulmonar, hasta un grado mortal. Es un agente irritante muy fuerte de la visión, y es responsable en gran parte, por la sensación desagradable que produce en los ojos el smog fotoquímico. Una concentración entre 1 y 3 ppm en el aire es perceptible y puede causar fatiga, dolor de cabeza y hasta pérdida de la coordinación⁽¹¹⁾.

El ozono dentro del organismo es capaz de producir radicales libres, que pueden involucrarse en procesos destructivos de oxidación, como la peroxidación de lípidos o reacciones con grupos sulfhidrilos (-SH). Las exposiciones prolongadas, pueden causar daños a nivel de los cromosomas. Los compuestos captadores de radicales libres, antioxidantes y compuestos que tengan grupos sulfhidrilos, pueden proteger al organismo de los efectos del ozono⁽¹²⁾.

Los niveles típicos de ozono descubiertos en el aire contaminado (menos de 0.1 ppm), quedan por debajo de los niveles que producen irritación severa. Los efectos en la salud asociados con la exposición a niveles bajos de ozono, se resumen en la tabla No.4 (anexo 7)⁽²⁾.

Se ha establecido que la cantidad de gases contaminantes absorbidos por las plantas, está relacionado con la solubilidad de estos gases en la capa acuosa de las células mesófilas. Debido a que la solución de los gases, usualmente implica su ionización, los iones resultantes también pueden involucrarse en alteraciones metabólicas. Los efectos del ozono, dentro de los procesos bioquímicos de la plantas, se resumen en la Fig. 4 (anexo 8)⁽¹¹⁾.

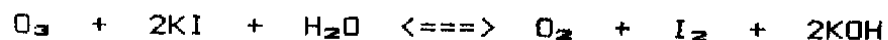
Tanto el ozono como los peroxiacetilnitratos (PAN), actúan principalmente sobre las plantas, oxidando grupos sulfhidrilo. Estos grupos son importantes en la estructura de las proteínas y la actividad enzimática a menudo está relacionada con la presencia de estos grupos en su cadena proteica.

La fotosíntesis (y posiblemente otros pasos generadores de energía), también es afectada por el ozono y los PAN. La naturaleza de su influencia en la fotosíntesis, aún no se conoce con claridad, pero se espera, que con el aumento de la investigación en este campo, se pueda llegar a comprender el proceso. También se sabe que el ozono, en concentraciones elevadas, causa contracción de los estomas; ésto indudablemente tiene efecto en la fotosíntesis, limitando el intercambio gaseoso, pero definitivamente no es la única forma en que interfiere en la misma⁽¹¹⁾.

(3.8) METODOS DE ANALISIS

La primera clave que llevó a la búsqueda de metodologías para la cuantificación de ozono, fué desarrollada por Haagen y Smit. El procedimiento se basaba en pedazos de hule especialmente preparados, que se cortaban en tiras rectangulares de 50 x 8 x 1.5 mm y se enrollaban sobre sí mismas, colocándolas en tubos de 13 mm de diámetro, manteniendo un flujo de aire de aproximadamente 1 L por minuto a través del tubo. Por último, se preparaba una curva de calibración, utilizando cantidades conocidas de ozono en la corriente de aire versus el tiempo inicial de rompimiento del hule. Era necesario efectuar una calibración para cada pedazo de hule empleado en la preparación de las tiras⁽²⁾. Haagen y Smit también introdujeron otro método, basado en la conversión oxidativa de la fenolftalina (C₂₀H₁₆O₄) a fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄), con la subsiguiente determinación colorimétrica del oxidante en las muestras de aire en equivalencia directa a la concentración de fenolftaleína formada. Para cubrir rangos de concentración de interés, se aplicaron muestreos de 10 minutos con un flujo de ingreso de muestra de 1 L por minuto. La curva de calibración se derivó ploteando las absorbancias medidas, contra concentraciones conocidas de una solución de peróxido de hidrógeno⁽³⁾.

Littman, posteriormente desarrolló un medidor continuo, basado en el uso de una solución al 20% de yoduro de potasio en una solución buffer de pH=7. El fundamento de dicho procedimiento, asume la liberación de yodo en una proporción estequiométrica, con la cantidad de ozono recolectado, según la ecuación:



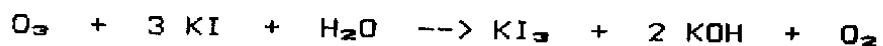
Más adelante, este método fue perfeccionado por D.H. Byers y B.E. Saltzman, empleando una solución tamponada de yoduro de potasio al 1%, con pH=6.8. Al igual que con el método de la fenolftaleína, la cuantificación se efectúa por medio de la medición colorimétrica de la absorbancia de las soluciones de muestra. La curva de calibración, se prepara contra soluciones de yodo de concentración conocida⁽¹²⁾.

(3.8.1) METODO DE D.H. BYERS Y B.E. SALTZMAN PARA LA CUANTIFICACION DE OZONO Y AGENTES OXIDANTES:

(3.8.1.1) Principios del método:

Microcantidades de ozono y otros oxidantes al ser absorbidos en una solución de yoduro de potasio al 1% tamponada a pH de 6.8 +/- 0.2, generan la liberación de yodo, el cual puede ser determinado espectrofotométricamente, midiendo la absorción del ión triyoduro a una longitud de onda de 352 nm.

La estequiometría de la reacción es la siguiente:



(3.8.1.2) Rango y sensibilidad del método:

Este método cubre la determinación de concentraciones de agentes oxidantes entre 0.01 y 10.0 ppm (19.6 a 19620 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), expresadas en forma de ozono.

Cuando se emplean 10 mL de solución absorbente, se colectan entre 1 y 10 μL de ozono, que corresponden a una absorbancia entre 0.1 y 1.0, empleando una celda de 1 cm⁽¹³⁾.

(3.8.1.3) Interferencias:

- El dióxido de azufre produce una interferencia negativa,

equivalente al 100% del de una concentración equimolar de oxidantes. El dióxido de azufre al igual que el ácido sulfuroso y los sulfitos, puede actuar como un oxidante moderado, pero las reacciones en las cuales estos compuestos reaccionan como reductores (y se oxidan al ion sulfato) son comunes; gracias a esto el dióxido de azufre puede ser eliminado completamente sin pérdida de agentes oxidantes, colocando un filtro de papel absorbente impregnado con ácido crómico en el conducto de ingreso de la muestra al recipiente muestreador ⁽¹³⁾.

- Otras sustancias oxidantes además del ozono, liberan yodo al emplear este método: i.e. halógenos, peroxycompuestos, hidroperóxidos y peróxido de hidrógeno. Sin embargo, su concentración relativa en la atmósfera es generalmente muy pequeña, en comparación a la concentración de ozono que puede generarse en regiones muy contaminadas ⁽¹³⁾.
- Se ha comprobado que la cantidad de yodo liberado, se incrementa proporcionalmente con la humedad relativa presente durante el muestreo. Este efecto es casi lineal y el aumento en la formación de yodo, puede variar de 0 a 10%, con valores de humedad relativa entre 0 y 60%. Se observan efectos insignificantes con niveles de humedad relativa entre 60 y 75% ⁽¹³⁾.

(3.8.1.4) Precisión y exactitud:

La precisión del método, en base al rango de sensibilidad mencionado, es de +/- 5% de desviación de la media. El error más grande que puede influir, es la pérdida de yodo durante los períodos de muestreo; éste puede reducirse empleando un segundo contenedor o ippinger.

En un rango de humedad relativa entre 40 y 60%, la estequiometría ozono-yodo es de 1.25 y no 1.00 como se sugiere en la ecuación del inciso 3.8.1.1 (pag. 14) «13».

(3.9) MUESTREO DE GASES

Los dispositivos para la colección de gases, pueden operar de dos maneras: absorbiendo la muestra en medio líquido en un impactor, o bien, absorbiendo la muestra sobre una superficie sólida. Los métodos estándar más usuales se basan en equipos de impactación en líquido. Entre los factores más importantes en el muestreo de gases, está la eficiencia de colección (absorción) y el camino a través del líquido (adsorción). En el caso de que se desconozca la eficiencia de la colección, o de la absorción en el camino a través del líquido en determinado método, existe una manera simple de evaluar este factor, colocando un segundo absorbedor después del primero. La eficiencia de colección se podrá estimar dividiendo la masa colectada por el primer absorbedor entre la masa obtenida en ambos absorbedores. Como es raro que el segundo absorbedor tenga una eficiencia mayor del 100%, este cálculo no será más que un estimado. Frecuentemente, es posible aumentar la eficiencia de la colección: 1) Disminuyendo la velocidad de flujo, 2) utilizando un burbujeador de vidrio poroso dentro de un equipo de impactación,

3) aumentando la longitud del lecho de absorción y/o 4) utilizando dos o tres colectores en serie⁽¹²⁾.

El aumento de la velocidad de flujo del muestreo, puede incrementar la sensibilidad de la medición, al proveer una mayor muestra para la realización del análisis. Se debe de tener cautela al aplicar esta alternativa, pues muchos métodos analíticos, tienen límites recomendados de velocidad de flujo y rango de duración. Estos límites son diseñados a fin de asegurar una colección eficiente y evitar la pérdida o decaimiento de la muestra durante largos períodos de muestreo. Se debe seguir dichas recomendaciones, o cuando menos evaluarlas, al seleccionar velocidad de flujo y duración del muestreo⁽¹²⁾.

Otro aspecto importante al diseñar un sistema de muestreo de gases, es la apropiada selección de materiales. En general, se deben utilizar tubos de vidrio o teflón como ingreso al colector. Esto es especialmente importante en el caso de gases muy reactivos.

En el comercio existe una gran variedad de monitores de gases de lectura directa. Muchos de ellos, son suficientemente sensibles para utilizarlos en interiores que no sean áreas industriales. Muchos de los instrumentos medidores de gases de lectura directa están diseñados para operar por largos períodos de tiempo, sin que haya que dedicarle especial atención. En la tabla No.5 (anexo 9) se presenta una lista, de varios tipos de monitores de gases de lectura directa⁽¹²⁾.

El uso de muestreadores pasivos para la colección de contaminantes gaseosos, es actualmente un área en proceso de investigación. Debido al hecho de que estos muestreadores carecen

de bombas, resultan compactos y de peso ligero. Esto resulta un factor importante, al medir simultáneamente varios contaminantes⁽¹²⁾.

(3.10) CUANTIFICACION DE OZONO EN GUATEMALA

En el Departamento de Guatemala, se ha cuantificado ozono en siete diferentes estaciones fijas, desde el mes de noviembre de 1994. El muestreo se ha realizado utilizando colectores pasivos, los cuales son expuestos al medio ambiente por siete días, y analizados posteriormente en el laboratorio por espectrofotometría⁽¹⁴⁾.

Los resultados obtenidos hasta el inicio de la presente investigación, indican que las concentraciones de ozono registradas, se encuentran por debajo de la normativa internacional correspondiente ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)⁽¹⁴⁾.

En la Ciudad de Guatemala, no se ha efectuado otro tipo de estudio sobre la cuantificación de ozono en la atmósfera, e incluso no se ha considerado ningún tipo de normativa para el mismo dentro de los parámetros de calidad de aire para nuestro país, según los reglamentos emitidos por la Comisión Guatemalteca de Normas - COGUANOR-⁽¹⁴⁾.

(3.11) OZONO EN INTERIORES

Entre las fuentes que pueden contribuir con cantidades significativas de ozono en espacios cerrados, se incluyen máquinas copiadoras y limpiadores electrostáticos del aire. Las pruebas efectuadas por Selway y colaboradores (1980), han demostrado que estos equipos constituyen fuentes emisoras internas de ozono, con

factores de emisión suministrados en la tabla No.6 (anexo 10). En las máquinas fotocopadoras, se han medido las concentraciones en la zona de respiración del operador, llegando a valores de equilibrio de 0.068 ppm en condiciones normales de trabajo. Se mostró que la limpieza y mantenimiento de las máquinas copadoras, reducía temporalmente la emisión, pero ésta regresaba a las tasas anteriores en el término de 15 días⁽⁹⁾.

(4) JUSTIFICACIONES

En la actualidad, los problemas de contaminación ambiental son cada vez más marcados en la Ciudad de Guatemala, debido a su acelerado crecimiento urbano, tráfico masivo y ausencia de mecanismos de control para las actividades industriales y vehiculares.

Debido a la evidente necesidad de crear mecanismos de control adecuados para evitar que la calidad del aire en nuestra ciudad se siga deteriorando, el monitoreo de las emisiones automotores se ha hecho indispensable.

Con este propósito, la Escuela de Química, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha implementado una "Estacion Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores", en las instalaciones de la Escuela para Formación de Profesores de Enseñanza Media - EFPEM-, ubicada en la Avenida Petapa, zona 12 de esta Capital. Dicha estación, investiga los niveles de concentración de diferentes contaminantes ambientales, aplicando las metodologías que mejor se adaptan a los recursos disponibles. Por ello, la presente investigación seleccionó al ozono como objeto de estudio, implementando el método de recolección activa que permitiera cuantificarlo en forma inmediata⁽¹⁾. Los resultados obtenidos durante el tiempo que se programó la cuantificación de ozono, evaluando sus fluctuaciones en forma constante y continua, permitirán en un futuro su

integración a un programa de vigilancia de la calidad del aire, que considere en el mismo los efectos dañinos de dicho contaminante.

(5) OBJETIVOS

(5.1) OBJETIVO GENERAL:

Aplicar durante seis meses, un método espectrofotométrico para la cuantificación inmediata de ozono, en una estación fija situada en una de las arterias principales de la Ciudad de Guatemala.

(5.2) OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- (5.2.1) Determinar la influencia que pueda ejercer el flujo de vehículos automotores, en la cantidad de ozono cuantificado en el lugar de estudio.
- (5.2.2) Comparar las concentraciones de ozono registradas en la estación fija, con otras cuantificaciones realizadas en un sector de escaso o nulo flujo vehicular.
- (5.2.3) Dar a conocer los resultados obtenidos, a diferentes sectores de la población, especialmente aquellos involucrados en estudios ambientales.

(6) HIPOTESIS

Los niveles de concentración de ozono cuantificables al mediodía en la "Estación fija para Monitoreo de Emisiones Automotores", situada en las instalaciones de la Escuela para Formación de Profesores de Enseñanza Media -EFPEM-, sobre la Avenida Petapa, zona 12 de esta Capital, se encuentran por debajo de la normativa máxima internacional ($150 \mu\text{g}$ de O_3/m^3 , en una hora).

(7) MATERIALES Y METODOS

(7.1) UNIVERSO DE TRABAJO

Niveles de concentración de ozono cuantificable al mediodía, en una estación fija situada en la avenida Petapa, zona 12, durante seis meses.

(7.2) MEDIOS

(7.2.1) RECURSOS HUMANOS

ELABORACION DE TESIS: Br. Edwin Rodolfo Zuleta Cruz, estudiante de la Carrera de Químico, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

ASESORA DE TESIS: Licda. Thelma Alvarado de Gallardo, catedrática del Departamento de Análisis Inorgánico, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

(7.2.2) RECURSOS MATERIALES

(7.2.2.1) EQUIPO DE LABORATORIO

- Espectrofotómetro Ultravioleta UVIKON 922, Kontron Instruments.
- Balanza analítica Sartorius, modelo 1100.
- Balanza semi-analítica, marca Ohaus, modelo E-200.
- Gasómetro, marca Stanley.
- Cristalería general de laboratorio: buretas de 50 y 25 mL, pipetas graduadas y volumétricas, matraces aforados de 1000, 250, 100, 50 y 10 mL, erlenmeyers, vasos de precipitar y tubos de ensayo.

(7.2.2.2) EQUIPO DE CAMPO PARA MUESTREO

- Dos cajas de madera de 15 x 9 x 3 pulgadas, diseñadas específicamente para la metodología implementada (Fig.5, anexo 11).
- Cuatro contenedores de vidrio para muestreo (impingers), marca SKC de 30 mL de capacidad, graduados en intervalos de 5 mL (Fig.6, anexo 12).
- Dos bombas programables para aire, modelo 224-PCXR8 marca SKC, con pantalla digital, medidor de flujo incorporado y batería recargable (Fig.7, anexo 13).
- Dos soportes de acrílico para colocar filtros circulares de 4 cms. de diámetro, en el ingreso de la muestra de aire al sistema muestreador.
- Varios pedazos de manguera de plástico transparente (1 cm diámetro interno), para interconectar el equipo.

(7.2.2.3) REACTIVOS

- Pureza

Todos los agentes químicos empleados, deben de ser grado reactivo. El agua utilizada puede ser agua desmineralizada, y de preferencia redestilada, para asegurar la ausencia de nitritos y nitratos.

- Solución absorbente (KI al 1% en buffer de fosfatos 0.1 M)

Disolver 13.6 g de fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4), 14.2 g de fosfato disódico (Na_2HPO_4) ó 35.8 g de la sal dodecahidratada ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$); y 10.0 g de yoduro de potasio

potasio consecutivamente, diluyendo la solución hasta 1 L con agua redestilada. Manténgase a temperatura ambiente por lo menos un día antes de utilizarla. Medir el pH y ajustarlo a 6.8 ± 0.2 con NaOH o KH_2PO_4 , según sea necesario. Esta solución puede ser guardada por varios meses en un recipiente de vidrio oscuro a temperatura ambiente. Nunca debe exponerse a luz de sol directa.

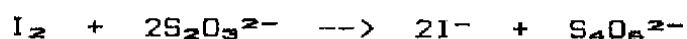
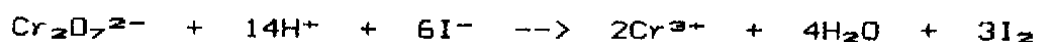
- **Solución estándar de yodo (0.025 M de I_2 (0.05 N))**

Disolver 16 g de yoduro de potasio y 3.173 g de yodo resublimado sucesivamente, y diluir la mezcla hasta exactamente 500 mL con agua redestilada. Manténgase a temperatura ambiente por al menos un día antes de usarla. Se debe estandarizar justo antes de emplearla contra $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.025 M. La solución de tiosulfato se estandariza contra dicromato de potasio como patrón primario⁽¹⁶⁾.

- **Solución de tiosulfato de sodio 0.025 M**

Pesar aproximadamente 3.1022 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y llevar a un volumen de 500 mL con agua redestilada en un matraz aforado. Estandarización: Pesar aproximadamente 0.05 g de dicromato de potasio y agregar 40 mL de una solución de KI, preparada con anterioridad disolviendo 10 g de KI en 200 mL de agua redestilada, en un vaso de precipitar. Agitar y adicionar 3 gotas de ácido sulfúrico 6F. Comenzar a valorar con la solución de tiosulfato de sodio hasta observar una disminución en el color de la solución. Agregar 3 gotas de indicador de almidón (solución de almidón al 5%, preparada en agua caliente

el mismo día de su utilización). Continuar la valoración hasta la desaparición del color azul, obteniéndose una solución verde claro. Finalmente se calcula la concentración de la solución de tiosulfato en base a las siguientes reacciones:



- **Estandarización de la solución de yodo 0.025 M**

Tomar una alícuota exacta (no menos de 10.00 mL) de solución de yodo y colocarla en un erlenmeyer. Diluir con agua redestilada hasta 40 mL aproximadamente. Comenzar a valorar hasta una disminución en la coloración de la solución. Agregar 3 gotas de indicador de almidón y terminar la valoración al momento de desaparecer la coloración azul y quedar una solución transparente. Calcular la concentración exacta de la solución de yodo según la ecuación:



- **Solución 0.001 M de yodo**

Pipetear con exactitud 2.00 mL (o el volumen necesario según se tuviera otra concentración) de la solución estándar de yodo 0.025 M en un matraz aforado de 50 mL y diluir hasta completar el volumen con solución absorbente de KI. Se obtiene una solución de concentración 0.0010 M de yodo, equivalente a 20 µL de ozono/mL.

- **Solución de yodo para calibración**

Con el fin de preparar la curva de calibración, se diluye 1.00 mL de la solución 0.0010 M de yodo con ~~solución absorbente~~

en un matraz aforado de 100 ml, justo antes de emplearla. La concentración final de esta solución equivale a 0.2 μL de ozono por cada mililitro de solución.

- **Filtros absorbentes para dióxido de azufre**

Se preparan humedeciendo círculos de papel filtro, de 3.5 cms de diámetro, en una solución de ácido crómico, en la forma siguiente: Se disuelven aproximadamente 2 g de cromato de potasio en 15 mL de agua y 15 gotas (0.75 mL) de ácido sulfúrico concentrado. Empleando un gotero, se deja caer la solución anterior sobre los círculos de papel y luego se ponen a secar al horno a 40°C durante 10 minutos. Deben guardarse en un recipiente cerrado y protegido de la humedad. Estos filtros, se colocan en la entrada de la corriente de aire a los burbujeadores, para retener el SO_2 que pueda estar presente en el lugar de muestreo.

(7.3) PROCEDIMIENTO

(7.3.1) DISEÑO DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de la investigación propuesta, se determinó la concentración de ozono presente al mediodía, dos veces por semana, durante seis meses seguidos, en la Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores, ubicada en la avenida Petapa, zona 12. Los dos días de muestreo, fueron seleccionados al azar, dentro de los cinco considerados como semana laboral (lunes a viernes), no pudiendo incluir dentro del estudio, los días sábado y domingo, por no tener acceso al

equipo de medición en esos días (espectrofotómetro).

Como punto de referencia, se seleccionó la garita para control de ingreso de vehículos, del parqueo del edificio T-12 de la Universidad de San Carlos. En dicho lugar, se efectuaron cuantificaciones de ozono, a la misma hora y fecha en que se realizaron mediciones en la avenida Petapa. Este segundo punto de muestreo, se consideró como de escaso flujo vehicular.

Al finalizar la investigación, se contó con 48 muestras para cada punto monitoreado, las cuales permitieron evaluar las fluctuaciones en concentración de ozono que se hubieran dado, comparando además, los niveles registrados en la estación de la avenida Petapa (punto expuesto a un elevado flujo vehicular), con los registrados en el punto control.

El número total de muestras a analizar, así como la ubicación del punto control, fueron seleccionados por conveniencia, pues la naturaleza inestable de las muestras, exige una lectura espectrofotométrica inmediata después de su colecta¹⁸, así como la constante preparación de estándares, curvas de calibración y solución absorbente.

(7.3.2) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

- Se ensamblan los dos sistemas de muestreo, consistentes en los impingers y bombas, según la Fig. 5 (anexo 11).
- Se colocan 10 mL de solución absorbente dentro de cada uno de los impingers.
- Se muestrea a una velocidad de flujo de 1.5 L/min, durante un lapso de 30 min, tanto en la estación de la avenida Petapa,

como en el punto de referencia con escaso flujo vehicular (garita de control de ingreso al parqueo del edificio T-12, Facultad de CC. Químicas y Farmacia, USAC).

- Se calcula el volumen total de aire muestreado.
- Se registra la temperatura del aire y la presión atmosférica.

IMPORTANTE: No debe exponerse el reactivo absorbente a luz natural directa.

- Medición del color: Si ocurre una apreciable evaporación de la solución absorbente durante el muestreo, se agrega agua destilada para llevar el volumen a 10 mL. Entre los 30 y 60 min después de la recolección de muestras, se leen sus absorbancias en el espectrofotómetro, a una longitud de onda 352 nm, empleando agua destilada como referencia.

(7.3.3) PREPARACION DE ESTANDARES Y CURVA DE CALIBRACION

- Los estándares para calibración, se preparan en un volumen de 10 mL para facilitar los cálculos, y en un rango desde 0 a 1.8 μL de ozono equivalente, por cada 10 mL de solución. Estos estándares se preparan individualmente, añadiendo 0.0, 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 y 9.0 mL de solución de yodo para calibración, en matraces aforados de 10.0 mL. Cada matraz debe aforarse con solución absorbente.
- Se lee la absorbancia de cada una de las soluciones para calibración, como se describió anteriormente, y se grafican las absorbancias obtenidas, contra las concentraciones de ozono en $\mu\text{L}/10\text{ml}$ de solución absorbente (la gráfica sigue la Ley de Beer).

- Se traza la mejor línea recta, ajustando por el método de mínimos cuadrados, sin extrapolar por encima de la concentración mas alta, ni por debajo de la concentración mas baja.

(7.3.4) CALCULOS

- El volumen molar de la muestra recolectada, se calcula bajo las condiciones reales, por medio de la Ley de los Gases Ideales:

$$V_m = \frac{n R T}{P}$$

Donde:

V_m = Volumen molar calculado para la muestra
 P = Presión registrada (en atmósferas)
 T = Temperatura registrada (grados Kelvin)
 $R = 0.0821$
 $n = 1 \text{ mol}$

- Se registra el volumen de muestra colectado en litros.
- Se lee directamente de la curva de calibración, la cantidad total de μL de O_3 /10 mL de solución absorbente.
- La concentración de ozono cuantificado en la fase gaseosa, expresada en $\mu\text{L}/\text{L}$ o ppm, se obtiene del cociente:

$$\text{ppm de ozono} = \frac{\mu\text{L totales de } \text{O}_3}{\text{volumen de muestra de aire (litros)}}$$

- La concentración de ozono, en términos de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se obtiene a partir de su valor en $\mu\text{L}/\text{L}$ o ppm:

$$\mu\text{g } \text{O}_3/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm } \text{O}_3 \times 48.00}{V_m} \times 10^3$$

Donde:

ppm O_3 = Partes por millón de ozono
 V_m = Volumen molar calculado para la muestra

(7.3.5) ANALISIS ESTADISTICO:

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente estudio, se efectuó un análisis estadístico de los resultados, en dos etapas:

Primero, se evaluó en forma descriptiva, los resultados obtenidos para niveles de concentración de ozono en cada punto de muestreo (avenida Petapa y punto control). Para ello, se calcularon media y desviación estándar de los valores disponibles, trazando además, los histogramas necesarios que permitieran complementar en forma gráfica, la interpretación de dichos resultados⁽¹⁷⁾.

Luego, asumiendo que la variabilidad en las observaciones era similar para cada punto de muestreo, se aplicó una prueba de "t de Student", que permitiera comparar los niveles de concentración de ozono cuantificados en la estación ubicada en la avenida Petapa, con los registrados en el punto control. La hipótesis nula a probar era:

$$H_0 : \mu_{\text{cont.}} - \mu_{\text{Pet.}} = 0$$

Donde:

- H_0 = Hipótesis nula que se pretende comprobar es inaceptable.
- $\mu_{\text{cont.}}$ = Media de la concentración de ozono registrada en el punto de control.
- $\mu_{\text{Pet.}}$ = Media de la concentración de ozono registrada en Avenida Petapa.

Esta hipótesis planteó que no existe diferencia entre las medias de los valores registrados para cada punto.

Como hipótesis alterna se formuló:

$$H_a : \mu_{\text{cont.}} - \mu_{\text{Pet.}} < 0$$

Donde:

- H_a = Hipótesis alterna que se aceptaría al comprobar que la hipótesis nula debía rechazarse.
 $\mu_{cont.}$ = Media de la concentración de ozono registrada en el punto de control.
 $\mu_{Pet.}$ = Media de la concentración de ozono registrada en Avenida Petapa.

En esta forma, la hipótesis alterna planteó que las concentraciones de ozono registradas en la estación de la avenida Petapa, son mayores que las registradas en el punto de control.

El estadístico de prueba calculado es:

$$t = \frac{(\bar{X}_{cont.} - \bar{X}_{Pet.})}{S \sqrt{\frac{1}{n_{cont.}} + \frac{1}{n_{Pet.}}}}$$

Donde:

- $\bar{X}_{cont.}$ = Media de las concentraciones de ozono registradas en el punto de control.
 $\bar{X}_{Pet.}$ = Media de las concentraciones de ozono registradas en Avenida Petapa.
 $n_{cont.}$ = Número de muestras colectadas en el punto de control.
 $n_{Pet.}$ = Número de muestras colectadas en Avenida Petapa.

Considerando un nivel de significancia del 5% y 94 grados de libertad, la hipótesis nula fue rechazada, pues el valor de "t" es menor de -1.645 (valor calculado = -14.5028)⁽¹⁷⁾. Consecuentemente se acepta la hipótesis alterna, confirmando que las concentraciones de ozono registradas en la Avenida Petapa son mayores que las registradas en el punto de control.

(B) RESULTADOS

(B.1) Concentraciones de ozono (Nov'95-Jun'96), registradas en partes por millón en la Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores de la Avenida Petapa:

TABLA No.7

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Concentración de ozono registrada en ppm
1	7/11/1995	0.017
2	9/11/1995	0.021
3	13/11/1995	0.012
4	16/11/1995	0.018
5	21/11/1995	0.019
6	22/11/1995	0.021
7	28/11/1995	0.017
8	4/12/1995	0.020
9	8/12/1995	0.019
10	11/12/1995	0.016
11	14/12/1995	0.017
12	11/01/1996	0.020
13	16/01/1996	0.015
14	19/01/1996	0.017
15	22/01/1996	0.017
16	26/01/1996	0.018
17	30/01/1996	0.021
18	5/02/1996	0.021
19	8/02/1996	0.024
20	13/02/1996	0.030
21	16/02/1996	0.023
22	21/02/1996	0.028
23	22/02/1996	0.024
24	27/02/1996	0.023
25	1/03/1996	0.018
26	5/03/1996	0.021
27	7/03/1996	0.016
28	14/03/1996	0.025
29	15/03/1996	0.023
30	21/03/1996	0.015
31	25/03/1996	0.019
32	9/04/1996	0.018
33	11/04/1996	0.016
34	15/04/1996	0.016
35	17/04/1996	0.022
36	25/04/1996	0.020
37	26/04/1996	0.024

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Concentración de ozono registrada en ppm
38	29/04/1996	0.018
39	3/05/1996	0.021
40	7/05/1996	0.024
41	8/05/1996	0.021
42	13/05/1996	0.024
43	21/05/1996	0.017
44	23/05/1996	0.016
45	27/05/1996	0.017
46	6/06/1996	0.019
47	10/06/1996	0.018
48	11/06/1996	0.020
MEDIA		0.020
DESVIACION STANDARD		0.004
Límite de Confianza Inferior (95%)		0.013
Límite de Confianza Superior (95%)		0.027

(8.2) Concentraciones de ozono (Nov'95-Jun'96), registradas en microgramos por metro cúbico en la Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores de la Avenida Petapa:

TABLA No.8

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Temp. registrada en °C	Presión Media Semanal en mmHg	Concentración de ozono registrada en $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$
1	7/11/1995	19	640	28.3
2	9/11/1995	20	640	34.9
3	13/11/1995	17	638	20.1
4	16/11/1995	18	638	30.9
5	21/11/1995	19	670	33.1
6	22/11/1995	20	670	36.7
7	28/11/1995	21	656	29.8
8	4/12/1995	19	638	33.9
9	8/12/1995	19	638	31.7
10	11/12/1995	17	646	27.6
11	14/12/1995	18	646	29.1
12	11/01/1996	21	637	33.8
13	16/01/1996	19	653	26.1
14	19/01/1996	19	653	29.9
15	22/01/1996	18	674	30.0
16	26/01/1996	18	674	31.4
17	30/01/1996	18	652	36.8
18	5/02/1996	20	653	35.5
19	8/02/1996	21	653	40.6
20	13/02/1996	20	619	48.8
21	16/02/1996	19	619	37.2
22	21/02/1996	21	626	45.6
23	22/02/1996	21	626	40.0
24	27/02/1996	22	659	38.8
25	1/03/1996	21	659	31.2
26	5/03/1996	22	668	36.2
27	7/03/1996	21	668	27.3
28	14/03/1996	23	659	43.6
29	15/03/1996	21	659	40.0
30	21/03/1996	23	618	23.7
31	25/03/1996	22	631	31.9
32	9/04/1996	22	640	30.3
33	11/04/1996	21	640	26.9
34	15/04/1996	20	655	28.0
35	17/04/1996	21	655	38.1
36	25/04/1996	20	649	33.3

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Temp. registrada en °C	Presión Media Semanal en mmHg	Concentración de ozono registrada en µg O ₃ /m ³
37	26/04/1996	21	649	41.2
38	29/04/1996	22	657	31.1
39	3/05/1996	21	657	35.9
40	7/05/1996	22	670	41.6
41	8/05/1996	20	670	36.7
42	13/05/1996	20	650	40.2
43	21/05/1996	21	656	29.5
44	23/05/1996	18	656	28.0
45	27/05/1996	20	639	29.1
46	6/06/1996	21	639	31.3
47	10/06/1996	20	651	30.0
48	11/06/1996	20	651	35.0
MEDIA				33.6
DESVIACION STANDARD				5.8
Límite de Confianza Inferior (95%)				21.9
Límite de Confianza Superior (95%)				45.2

(8.3) Concentraciones de ozono (Nov'95-Jun'96), registradas en partes por millón para el punto de referencia:

TABLA No. 9

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Concentración de ozono registrada en ppm
1	7/11/1995	0.011
2	9/11/1995	0.014
3	13/11/1995	0.011
4	16/11/1995	0.014
5	21/11/1995	0.011
6	22/11/1995	0.013
7	28/11/1995	0.011
8	4/12/1995	0.014
9	8/12/1995	0.014
10	11/12/1995	0.011
11	14/12/1995	0.011
12	11/01/1996	0.013
13	16/01/1996	0.011
14	19/01/1996	0.012
15	22/01/1996	0.011
16	26/01/1996	0.012
17	30/01/1996	0.014
18	5/02/1996	0.012
19	8/02/1996	0.013
20	13/02/1996	0.013
21	16/02/1996	0.012
22	21/02/1996	0.013
23	22/02/1996	0.014
24	27/02/1996	0.013
25	1/03/1996	0.012
26	5/03/1996	0.011
27	7/03/1996	0.014
28	14/03/1996	0.013
29	15/03/1996	0.011
30	21/03/1996	0.012
31	25/03/1996	0.014
32	9/04/1996	0.012
33	11/04/1996	0.012
34	15/04/1996	0.013
35	17/04/1996	0.012
36	25/04/1996	0.011

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Concentración de ozono registrada en ppm
37	26/04/1996	0.011
38	29/04/1996	0.011
39	3/05/1996	0.013
40	7/05/1996	0.013
41	8/05/1996	0.012
42	13/05/1996	0.011
43	21/05/1996	0.012
44	23/05/1996	0.013
45	27/05/1996	0.013
46	6/06/1996	0.011
47	10/06/1996	0.013
48	11/06/1996	0.012
MEDIA		0.012
DESVIACION STANDARD		0.001
Límite de Confianza Inferior (95%)		0.010
Límite de Confianza Superior (95%)		0.014

(B.4) Concentraciones de ozono (Nov'95-Jun'96), registradas en microgramos por metro cúbico para el punto de referencia:

TABLA No. 10

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Temp. registrada en °C	Presión Media Semanal en mm Hg	Concentración de ozono registrada en µg O ₃ /m ³
1	7/11/1995	19	640	19.2
2	9/11/1995	20	640	22.9
3	13/11/1995	17	638	18.3
4	16/11/1995	18	638	23.0
5	21/11/1995	19	670	20.0
6	22/11/1995	20	670	22.6
7	28/11/1995	21	656	19.4
8	4/12/1995	19	638	23.5
9	8/12/1995	19	638	24.1
10	11/12/1995	17	646	18.7
11	14/12/1995	18	646	19.2
12	11/01/1996	21	637	21.2
13	16/01/1996	19	653	19.4
14	19/01/1996	19	653	20.6
15	22/01/1996	18	674	20.3
16	26/01/1996	18	674	22.1
17	30/01/1996	18	652	24.2
18	5/02/1996	20	653	20.1
19	8/02/1996	21	653	22.3
20	13/02/1996	20	619	20.9
21	16/02/1996	19	619	18.8
22	21/02/1996	21	626	21.5
23	22/02/1996	21	626	23.2
24	27/02/1996	22	659	22.4
25	1/03/1996	21	659	21.0
26	5/03/1996	22	668	18.7
27	7/03/1996	21	668	24.6
28	14/03/1996	23	659	21.4
29	15/03/1996	21	659	18.9
30	21/03/1996	23	618	19.1
31	25/03/1996	22	631	23.0
32	9/04/1996	22	640	19.8
33	11/04/1996	21	640	20.0
34	15/04/1996	20	655	22.0

No. de muestra	Fecha de colección de la muestra	Temp. registrada en °C	Presión Media Semanal en mm Hg	Concentración de ozono registrada en µg O ₃ /m ³
35	17/04/1996	21	655	21.4
36	25/04/1996	20	649	18.6
37	26/04/1996	21	649	18.9
38	29/04/1996	22	657	19.4
39	3/05/1996	21	657	22.4
40	7/05/1996	22	670	23.0
41	8/05/1996	20	670	20.3
42	13/05/1996	20	650	18.2
43	21/05/1996	21	656	19.9
44	23/05/1996	18	656	21.9
45	27/05/1996	20	639	22.3
46	6/06/1996	21	639	17.9
47	10/06/1996	20	651	22.0
48	11/06/1996	20	651	21.4
MEDIA				20.9
DESVIACION STANDARD				1.8
Límite de Confianza Inferior (95%)				17.3
Límite de Confianza Superior (95%)				24.5

(9) DISCUSION DE RESULTADOS

Al finalizar la fase experimental de la presente investigación, se tabularon las 48 concentraciones de ozono registradas en cada punto de muestreo (Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores de la Avenida Petapa y Punto de Referencia), expresándolas en partes por millón y calculando su equivalencia en microgramos de ozono por metro cúbico (tablas de resultados No.7 a No.10).

Para cada una de las cuatro series de datos, se trazó una gráfica concentración-tiempo que permitiera evaluar visualmente algún tipo de tendencia en la distribución de los datos (ver gráficas No.1 a No.6, anexos 14 al 19). Como podrá notarse, no existe a simple vista tendencia de aumento o disminución en la concentración de ozono, en ninguno de los dos puntos monitoreados dentro del período de observación, quedando la distribución de dichas concentraciones en una forma mas bien aleatoria. Esta observación es muy importante para las series de datos expresadas en microgramos de ozono por metro cúbico, pues en el cálculo de cada concentración, se debe considerar la temperatura y presión atmosférica (ver gráficas No.7 y No.8, anexos 20 y 21), por lo cual su influencia podría haber producido algún tipo de tendencia en los datos registrados para concentración de ozono en los dos puntos monitoreados.

Para cada serie de datos, se calculó la media, desviación estándar y límites de confianza inferior y

superior. Al evaluar estos resultados, primeramente se pudo confirmar que la concentración de ozono registrada en la estación de la Avenida Petapa, se encuentra por debajo de la normativa internacional ($150 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$), pues su valor medio está entre 21.9 y $45.2 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (ver tabla de resultados No.8). En segundo lugar, pudo notarse que la media para la concentración de ozono en la estación de la Avenida Petapa, era mayor que la registrada en el punto de referencia. Esta afirmación se comprobó empleando la "t" de Student. El estadístico "t" obtenido (-14.5028) implicó el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alterna, con lo cual se concluye que la concentración de ozono en la Avenida Petapa es mayor que la registrada en el punto de control.

Considerando que durante el transcurso del estudio las muestras correspondientes al punto de referencia y a la Avenida Petapa, fueron colectadas en las mismas fechas y horas del día, se puede asegurar que el principal factor de influencia en el aumento del nivel de concentración de ozono en la Avenida Petapa es el flujo vehicular, pues tanto la temperatura como la presión atmosférica (variables que influyen en la determinación de la concentración de ozono) fueron similares para ambos puntos.

(10) CONCLUSIONES

- (10.1) La concentración de ozono cuantificable en el Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores de la Avenida Petapa se encuentra por debajo de la normativa máxima internacional de $150 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ en una hora.
- (10.2) La concentración de ozono cuantificable en la Estación Fija para Monitoreo de Emisiones Automotores de la Avenida Petapa, es mayor que la registrada en el Punto de Referencia (Garita de Control para el ingreso de automóviles al Parqueo de la Facultad de Farmacia - Edificio T-12, USAC), por lo cual se asume una influencia directa del flujo vehicular sobre la cantidad de ozono y agentes oxidantes detectables.
- (10.3) No existe tendencia alguna en la distribución de los datos colectados para la concentración de ozono, tanto en el Punto de Referencia como en la Avenida Petapa, indicando poca o ninguna influencia de las fechas en que se colectaron las muestras con el nivel de concentración de ozono y agentes oxidantes en dichos puntos.

(11) RECOMENDACIONES

(11.1) Puesto que las condiciones actuales de liberación de grandes cantidades de contaminantes a nuestra atmósfera, requiere con urgencia un programa de control total en arterias de elevado flujo vehicular, como el caso de la Avenida Petapa, es indispensable monitorear las concentraciones de otros contaminantes (i.e. óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, polvo de precipitación, etc), pues la inexistencia de actividad fotoquímica considerable sólo demuestra la no acumulación de bolsas de aire que propicien las fotorreacciones radicalares necesarias para la generación de niebla fotoquímica, sin descartar la perceptible existencia de una gran cantidad de contaminantes relacionados y no relacionados con este fenómeno.

(11.2) Al considerar ampliar el área de cobertura en un estudio para cuantificación de ozono con medición espectrofotométrica inmediata, será necesario tomar en cuenta la necesidad de contar con varios espectrofotómetros ubicados cerca de los puntos que sean monitoreados, pues la inestabilidad de las muestras colectadas (degradación de la coloración generada), es una limitante importante para el método aplicado.

(12) REFERENCIAS

- 1) Stratospheric ozone and man. Bower FA. and Ward RB. Editors. Boca Raton, Fla.: CRC, press. 1982. 286 pp.
- 2) Dickson TR. Química, un enfoque ecológico. México: Editorial Limusa, 1989. 406 pp.
- 3) International conference: Ozone Chemistry and Technology. Washington: American Chemical Society, 1959. 465 pp.
- 4) Holum JR. Topics and Terms in Environmental Problems. USA: Wiley-Interscience Publications, 1977. 729 pp.
- 5) Photochemical smog and ozone reactions. Washington: American Chemical Society, 1972. 285 pp.
- 6) Fuller EC. Chemistry and Man's Environment. USA: Houghton Mifflin Company, 1974. 501 pp.
- 7) Kabbe F. and Kabbe L. Chemistry, Energy and Human Ecology. Boston: Houghton Mifflin Company, 1978. 447 pp.
- 8) Young JA. Chemistry and human concern. New York: MacMillan Publishing Co., Inc., 1978. 439 pp.
- 9) Masterton W. et al. Química General Superior. Sexta Edición. México: Editorial McGraw-Hill, 1988. 803 pp.
- 10) Brown L. y Lemay T. Química, la ciencia central. Tercera Edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1988. 886 pp.
- 11) Manahan SE. Toxicological Chemistry, a guide to toxic substances in chemistry. USA: Lewis Publishers Inc., 1990. 317 pp.
- 12) Giddings JC. Chemistry, man and environmental change: an integrated approach. San Francisco: Canfield Press Inc., 1973. 426 pp.
- 13) Stern AC. Air Pollution. Second Edition. New York: Academic Press Inc. 1970. 684 pp.
- 14) Alvarado de Gallardo T. Informes de monitoreo ambiental, noviembre 1994 - junio 1995. Proyecto monitoreo de emisiones automotores, Ciudad de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC. 45 pp.

- 15) Zuleta Cruz ER. Desarrollo de un Método Espectrofotométrico para la Cuantificación de Ozono en el Aire. Informe Final de Examen General de Integración. Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC, 1995. 67 pp.
- 16) Ayres GH. Análisis Químico Cuantitativo. Segunda Edición. México: Editorial Harla, 1970. 727 pp.
- 17) Mendenhall W. Introducción a la Probabilidad y la Estadística. México: Editorial Iberoamérica, 1989. 626 pp.

(13) A N E X O S

ADICIONALES A LOS ANEXOS 1 Y 2
DE LA LEY DE ENERGIAS RENOVABLES

ANEXO 1**"Fuentes de contaminantes del aire en los Estados Unidos"****Tabla No. 1**

Porcentaje por peso del gran total anual (más de 200 millones de toneladas)

<i>Fuente</i>	<i>Monóxido de carbono</i>	<i>Oxidos de azufre</i>	<i>Oxidos de nitrógeno</i>	<i>Hidrocarburos</i>	<i>Macropartículas</i>	<i>Total</i>
Transporte	29.8	0.4	3.8	7.75	0.56	42.3
Quema de combustibles (plantas de energía, calentamiento ambiental, etc.)	0.89	11.4	4.67	0.3	4.2	21.4
Procesos industriales	4.5	3.4	0.09	2.1	3.5	13.6
Eliminación de desechos sólidos	3.6	0.05	0.3	0.75	0.51	5.2
Diversos (incendios agrícolas y forestales, etc.)	7.89	0.3	0.79	4.0	4.5	17.5
Total	46.7	15.5	9.6	14.9	13.3	100.0

Datos proporcionados por el Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos, 1968.

ANEXO 2

Tabla No.2 - Composición del aire seco en la baja Tropósfera
(libre de vapor de agua)

Gas	Simbolo químico	Concentración ^a (%)	Tiempo de residencia calculado
Gases principales			
nitrógeno	N ₂	78.0	continuo
oxígeno	O ₂	20.9	continuo
argón	Ar	0.93	continuo
dióxido de carbono	CO ₂	0.032 ^b	2-4 años
Gases en trazas y permanentes (no reactivos)			
		(ppm)	
helio	He	5.2	casi dos millones de años
neon	Ne	18	continuo
criptón	Kr	1.1	continuo
xenón	Xe	0.086	continuo
Gases reactivos			
monóxido de carbono	CO	0.1	0.5 años
metano	CH ₄	1.4	4-7 años
hidrocarburos	"CH"	(1x10 ³)	?
óxido nítrico	N ₂ O	0.25	4 años
óxido nítrico	NO	0.2-2.0 x10 ⁻³	5 años
dióxido de nitrógeno	NO ₂	0.5-4.0 x10 ²	varios días
amoníaco	NH ₃	6-20 x10 ³	7 días
sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	0.2 x 10 ⁻³	2 días
dióxido de azufre	SO ₂	0.2 x 10 ³	4 días
cloro	Cl ₂	3-15 x10 ⁻⁴	varios días
yodo	I ₂	0.4-4 x10 ⁻³	?
fluoruro de hidrógeno	HF	0.08-18 x10 ⁻³	?
hidrógeno	H ₂	0.58	?
ozono	O ₃	0.0-0.05	60 días aprox.

^a Esta es la concentración atmosférica normal y no la concentración de áreas contaminadas. Cuando se da un rango de concentración, indica que se ha medido por diferentes operarios en diferentes lugares.

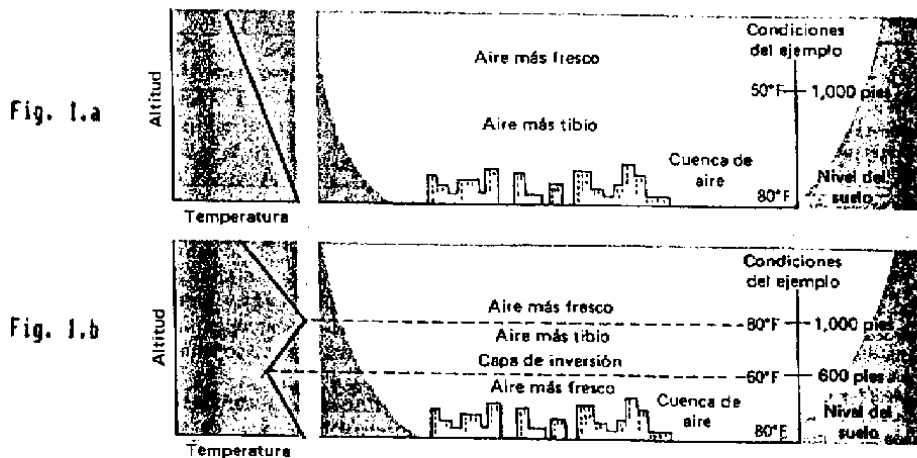
^b Mínima concentración de CO₂ medida lejos de centros poblados. En lugares habitados, la concentración varía entre 0.034 a 0.035%.

^c Se sabe muy poco sobre el tiempo de residencia del gas.

(Ref. 4)

ANEXO 3

Condiciones normales y de inversión de temperatura en una acumulación de bolsa de aire.



ANEXO 4

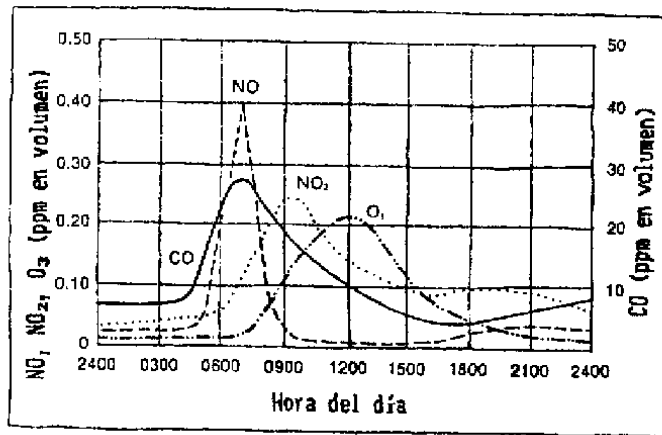
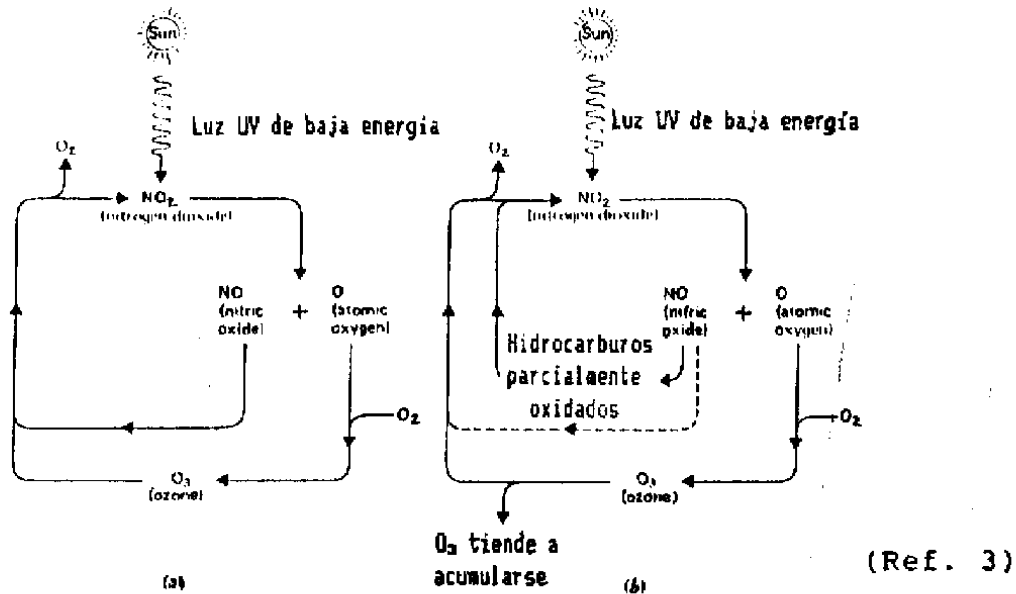


Fig.2 Promedio diario de la concentración en una hora, de algunos contaminantes en los Angeles (julio 19, 1967).

(Ref. 6)

ANEXO 5

OZONO - Fig. 3 (a) Dióxido de nitrógeno - Ciclo del ozono en la atmósfera en ausencia de hidrocarburos. Las flechas que van hacia y desde el ozono, son del mismo grosor para indicar un balance. (b) Dióxido de nitrógeno - Ciclo del ozono en presencia de hidrocarburos y sus formas parcialmente oxidadas. Debido a que el óxido nítrico (NO) se encuentra menos disponible para remover el ozono y la concentración del mismo tiende a subir lentamente. Fuente: J.R. Holm. Elements of General and Biological Chemistry, 4th edition. Wiley, New York, 1975.



ANEXO 6

TABLA No. 3

ESTANDARES DE CALIDAD Y ESTANDARES OCUPACIONALES PARA ALGUNOS COMPONENTES DEL SMOG FOTOQUÍMICO

Estandar de calidad	Hidrocarburos	Oxidantes	NO ₂
Máximo (no debe excederse más de una vez al año)	0.24 ppm (3 hrs, 6-9 a.m.)	0.8 ppm (1 hr.)	0.05 ppm (media aritmética anual)
Estandar ocupacional (promedio en 8 hrs)	No aplicable	0.1 (ozono)	5.00 ppm

Fuente: Estándares máximos del Federal Register, Título 40, Capítulo 1, Sección 50.9, 50.10, y 50.11, p. 61. Estándares ocupacionales del Federal Register, Título 29, Capítulo 17, Sección 1910.93, p. 193.

(Ref. 5)

ANEXO 7

Tabla No. 4

Recopilación de los resultados reportados en estudios de investigación de ozono o exposición a oxidantes en seres humanos^a

Concentración (ppm)	Duración de la exposición (en horas) (para estudios clínicos); promedio de tiempo (para estudios epidemiológicos)	Contaminante medido (O ₃ = ozono; O _x = oxidante)	Efectos reportados	Referencias
0.01-0.30	Promedio horario	O ₃	Los parámetros de la función pulmonar en casi 25% de los niños japoneses de edad escolar que fueron reconocidos, estaban significativamente correlacionados con las concentraciones de O ₃ (dentro del rango de 0.01-0.30 ppm) en las dos horas anteriores a la prueba.	Kagawa y Toyama (1975); Kagawa y colaboradores, (1976)
0.03-0.30	Promedio horario	O _x	A pesar de que se observó una significativa correlación entre la disminución del comportamiento atlético y las concentraciones de O _x dentro del rango de 0.03-0.30 ppm, los criterios contenidos en el documento establecen que la inspección de los datos no revela ninguna relación evidente entre el funcionamiento y los valores de O _x por debajo de 0.10-0.15 ppm.	Wayne y colaboradores, (1967)
0.10	2	O ₃	Disminución de la presión de O ₂ en la sangre contenida en las arterias, aumentó a la resistencia al paso del aire, observada, utilizando técnicas de medición no normalizadas.	von Nieding y colaboradores, (1976)

(Ref. 1)

Continuación...

0.10-0.15	Promedio horario máximo diario probable	O _x	El aumento en las tasas de los síntomas respiratorio y el dolor de cabeza fueron reportados por estudiantes japoneses en los días en que las concentraciones sobrepasaban 0.15, comparados con los días en que las concentraciones de O _x eran menores de 0.10 ppm.	Makino y Mizoguchi (1975)
0.15	1	O ₃	La mayoría de los pacientes observaron síntomas subjetivos de incomodidad, discernibles pero no estadísticamente significativos, cuando efectuaban ejercicios vigorosos.	De Lucia y Adams (1977)
0.20	3	O ₃	Se observó una reducción en la agudeza visual (visión nocturna).	Lagerwerff (1963)
0.20-0.25	2	O ₃	Los pacientes asmáticos expuestos a ejercicios ligeros bajo condiciones intermitentes, no mostraron cambios significativos en la función respiratoria. Los apuntes de los síntomas aumentaron ligeramente durante las exposiciones al O ₃ . Ocurrieron ligeros cambios bioquímicos en la sangre, que eran estadísticamente significativos.	Linn y colaboradores, (1978)
0.25	2	O ₃	Fueron observados ligeros cambios en la función pulmonar en 3 pacientes que realizaban ejercicios ligeros e intermitentes.	Hazucha (1973)
0.25	2 y 4	O ₃	No se observaron cambios notables en la función pulmonar de los pacientes "reactivos" (que poseían historia clínica de tos, malestar en el pecho, o resuello, asociados con la contaminación del aire o alergia) mientras realizaban ejercicios ligeros e intermitentes.	Hackney y colaboradores, (1975a,b,c)

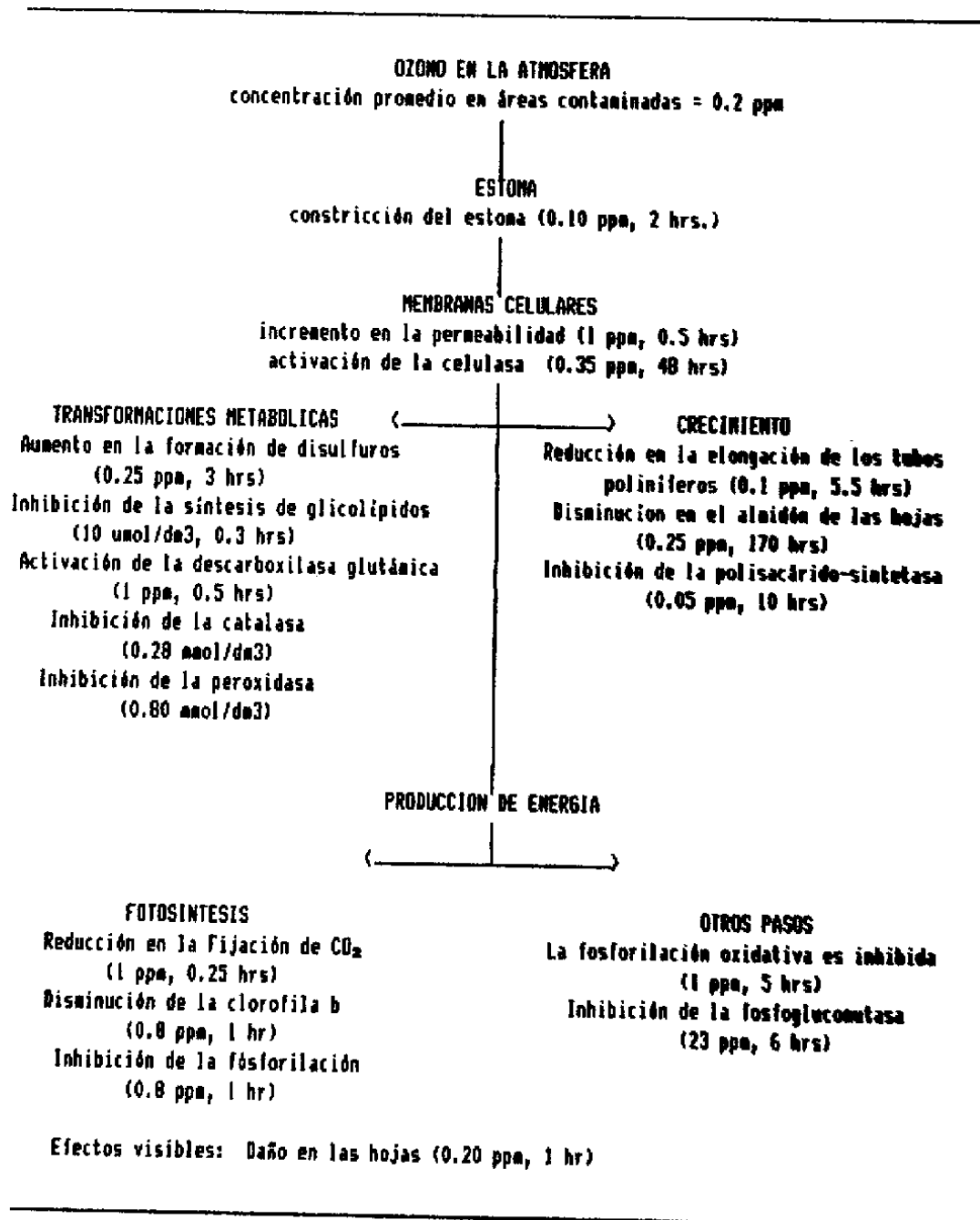
(Continuación)

Concentración (ppm)	Duración de la exposición (en horas) (para estudios clínicos); promedio de tiempo (para estudios epidemiológicos)	Contaminante medio (O ₃ = ozono; O _x = oxidante)	Efectos reportados	Referencias
0.25	Promedio horario máximo diario	O _x	El promedio de pacientes asmáticos que sufrían ataques se elevaba estadística y significativamente en los días en que los niveles de O _x excedían de 0.25 ppm.	Schoettlin y Landau (1961)
0.25	0.5-1	O ₃	Las muestras de sangre de los pacientes expuestos habían aumentado las velocidades de formación de esferas en los glóbulos rojos de la sangre.	Brinkman y colaboradores, (1964)
0.28	Promedio máximo instantáneo diario (2 min)	O _x	A pesar de que los resultados reportados no ofrecieron conclusiones, el examen de la evidencia presentada, realizada por la EPA, sugiere una exacerbación del asma cuando los niveles de O _x están por encima de 0.28 ppm.	Kurata y colaboradores, (1976)
0.30	1	O ₃	La mayoría de los pacientes observaron síntomas subjetivos de incomodidad, estadísticamente significativos, en las funciones pulmonares cuando los pacientes realizaban ejercicio intenso.	De Lucia y Adams (1977)
0.30	Promedio máximo horario máximo	O _x	Se observaron incremento de repeticiones de tos, molestias en el pecho y dolor de cabeza, en las enfermeras estudiantes en los días en que las concentraciones de O _x excedían a 0.30 ppm.	Hammer y colaboradores, (1974)
0.37	2	O ₃	Se observaron síntomas de incomodidad y cambios significativos en la función pulmonar cuando los pacientes estaban sometidos a ejercicios ligeros e intermitentes.	Hazucha (1973); Folinsbee y colaboradores, (1975); Silverman y colaboradores, (1976)
0.37 0.37	2 2	O ₃ SO ₂	La exposición al O ₃ y el SO ₂ juntos produjo cambios en la función pulmonar notablemente mayores que la suma de los efectos separados de los dos contaminantes individuales.	Hazucha y Bates (1975)
0.37 0.37	2 2	O ₃ SO ₂	El efecto interactivo observado entre el O ₃ y el SO ₂ sobre la función pulmonar era considerablemente menor que el observado por Hazucha y Bates. Los autores llegaron a la conclusión que el estudio inicial simulaba más de cerca un episodio de nebluma en regiones que presentaban altas contaminaciones de oxidantes y azufre.	Bell y colaboradores, (1977)

^aEPA (1979a).

ANEXO B

Fig. 4 - EFECTOS DEL OZONO EN LA BIOQUIMICA DE LAS PLANTAS



(Ref. 15)

ANEXO 9**Tabla No. 5**

Resumen de los métodos utilizados con los monitores de gas de lectura directa.

<i>Gas</i>	<i>Métodos analíticos</i>	<i>Sensibilidad (ppm)</i>	<i>Portátil</i>
Monóxido de carbono	Oxidación electroquímica	1.0	Sí
	Cromatografía gaseosa	0.1	No
	Fotometría infrarroja	0.1	No
Ozono	Coulometría	0.003	Sí
	Quemiluminescencia	0.001	No
	Fotometría ultravioleta	0.002	No
Bióxido de azufre	Coulometría	0.01	No
	Colorimetría	0.005	No
	Quemiluminescencia	0.01	No
	Cromatografía gaseosa	0.01	No
Óxido nítrico	Oxidación a NO ₂ /colorimetría	0.002	No
	Quemiluminescencia	0.005	No
Bióxido de nitrógeno	Colorimetría	0.002	No
	Conversión a NO/quemiluminescencia	0.005	No
Hidrocarburos	Cromatografía gaseosa	0.01	No
Bióxido de carbono	Fotometría infrarroja	0.5%	No

(Ref. 1)

ANEXO 10**Tabla No. 6**

Emisiones de ozono procedente de máquinas copiadoras y limpiadores domésticos del aire

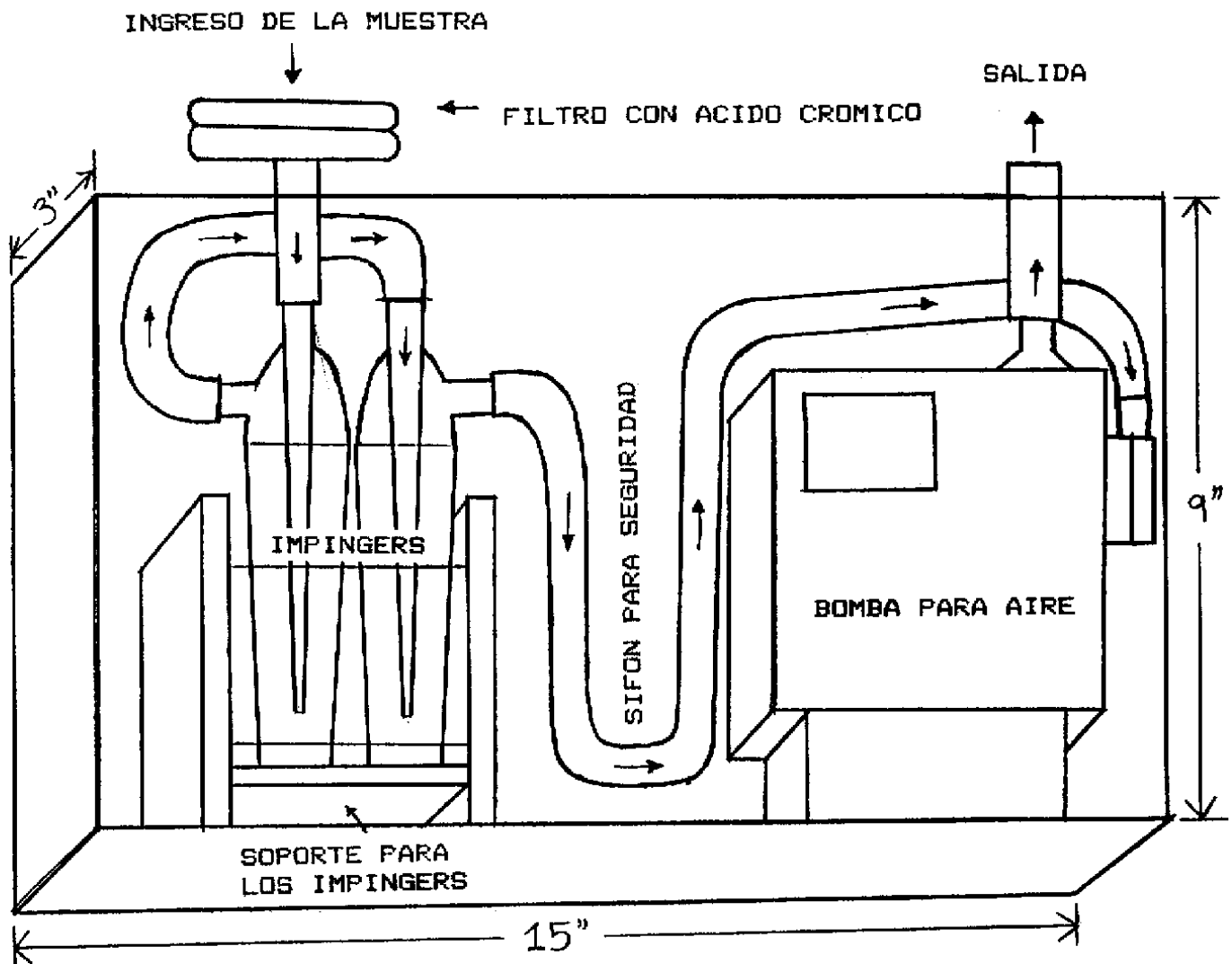
	<i>Voltaje máximo</i>	<i>Factores de emisión del ozono</i>
		<i>µg/min</i>
Limpiadores electrostáticos del aire 8 instalados en sistemas centrales de aire acondicionado ^a	5000-7900	0-546
"Limpiadores electrostáticos del aire, fabricados por empresas muy conocidas" (en los sistemas centrales de aire acondi- cionado) ^b		303-1212
1 unidad portátil ^c	9900	84
Unidad industrial de dos etapas y bajo voltaje (1 pase: 2 pases duplicarán la tasa de emisión) ^c	11,000	333
		<i>µ/copia^e</i>
11 máquinas fotocopiadoras ^{d, e}	3500-11,000	Rango < 2-158; Por lo general 15-45

^aAllen y colaboradores, (1978).^bSutton y colaboradores, (1976).^cHolcomb y Scholz (1981).^dSelway y colaboradores, (1980).^eTasa típica de la copia, 5 copias/min.

(Ref. 1)

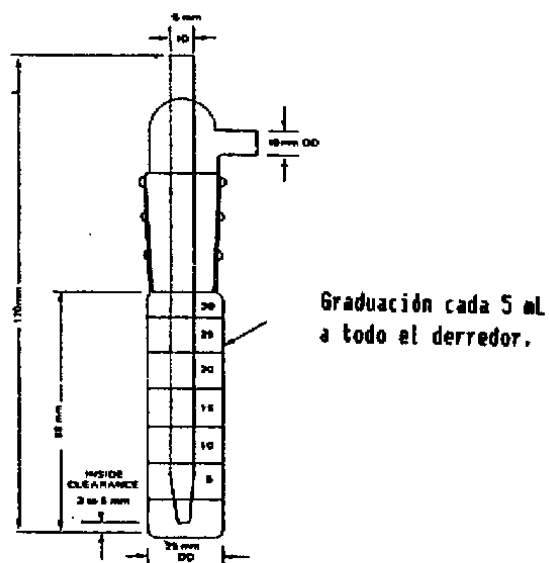
ANEXO 11

Fig. 5 - ESQUEMA DEL EQUIPO PORTATIL PARA MUESTREO



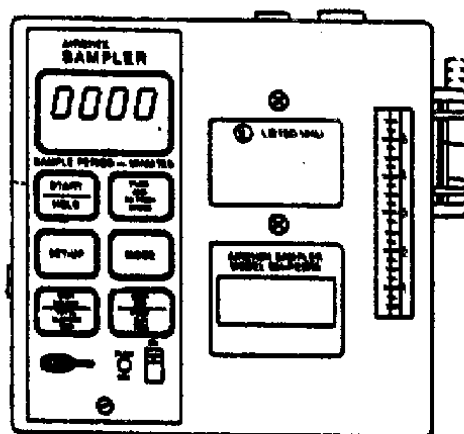
ANEXO 12

Fig. 6 - Impinger de vidrio (modelo comercial). La entrada y salida de vidrio permiten el paso de 2.55 - 3.12 L/m a 3 kPa de presión.

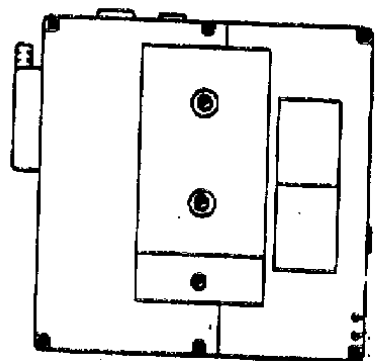


ANEXO 13

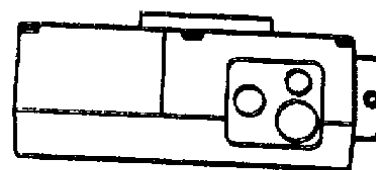
Fig. 7 - ESQUEMA DE LA BOMBA UTILIZADA PARA LOS MUESTREOS



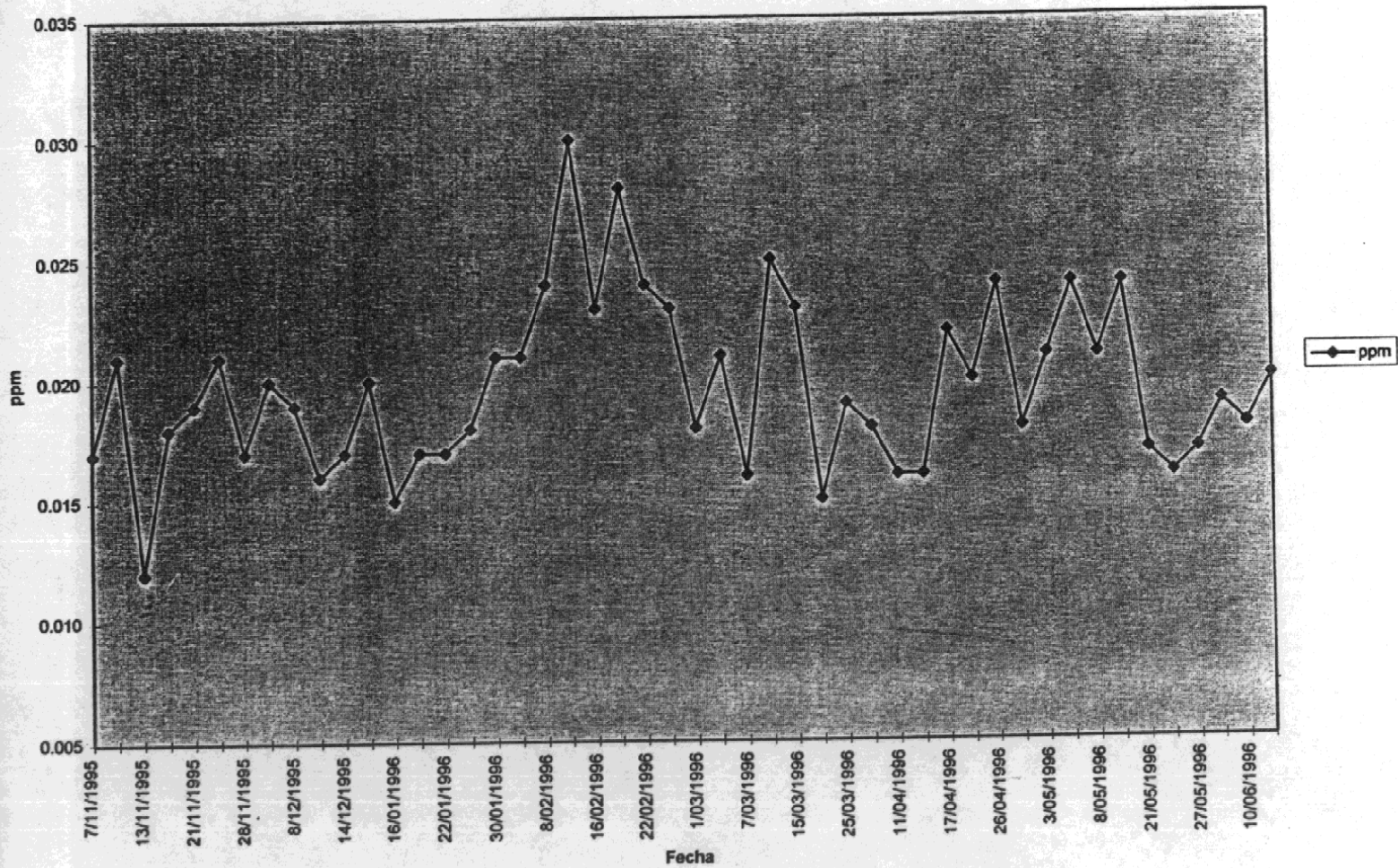
FRENTE



PARTE POSTERIOR

PLANTA
(PARTE SUPERIOR)

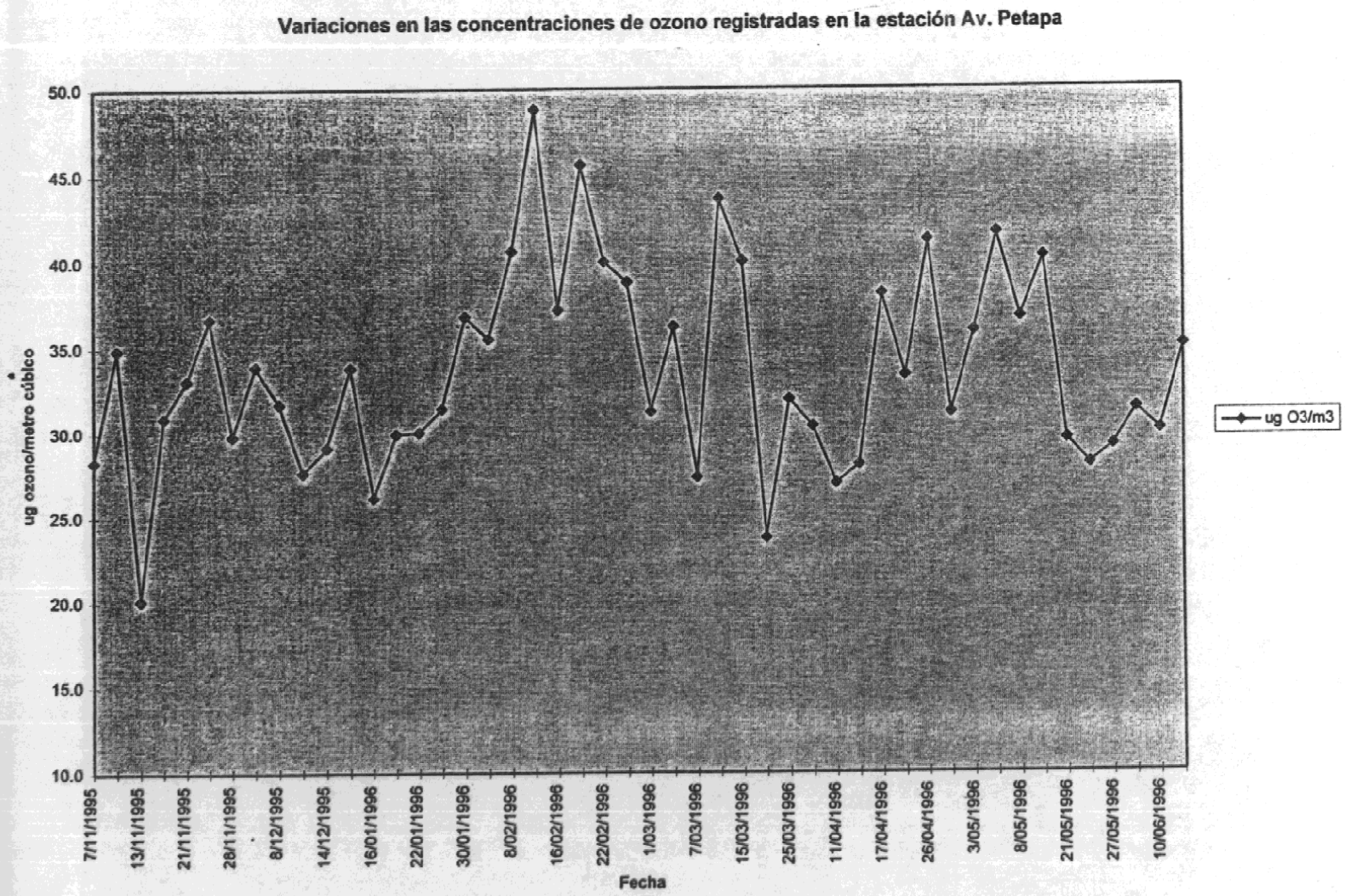
Variaciones en la concentraciones de ozono registradas en la estación Av. Petapa



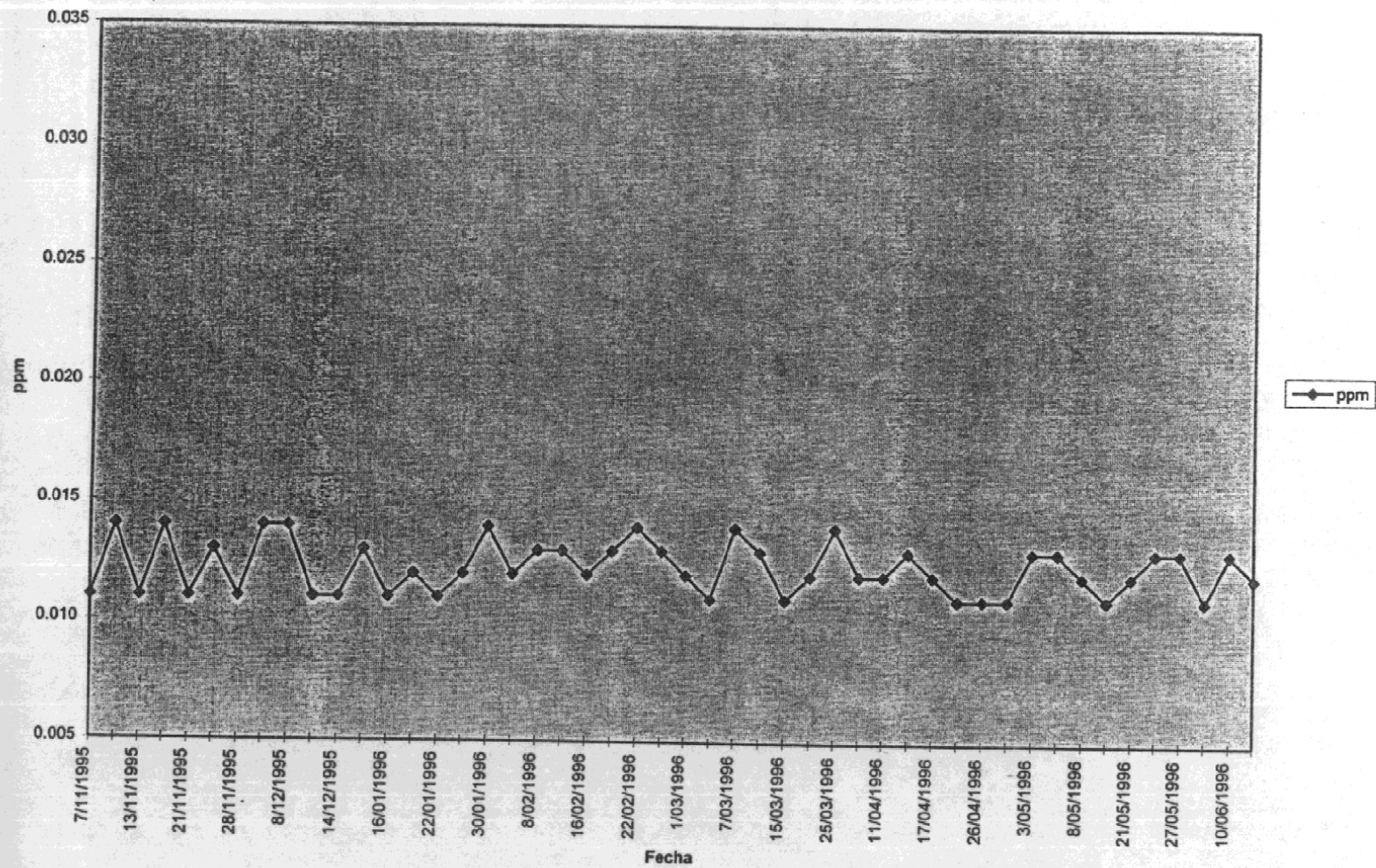
Gráfica No. 1 - Fuente: Tabla de resultados No.7, pag. 34

ANEXO 14

Gráfica No. 2 - Fuente: Tabla de Resultados No.8, pag. 36



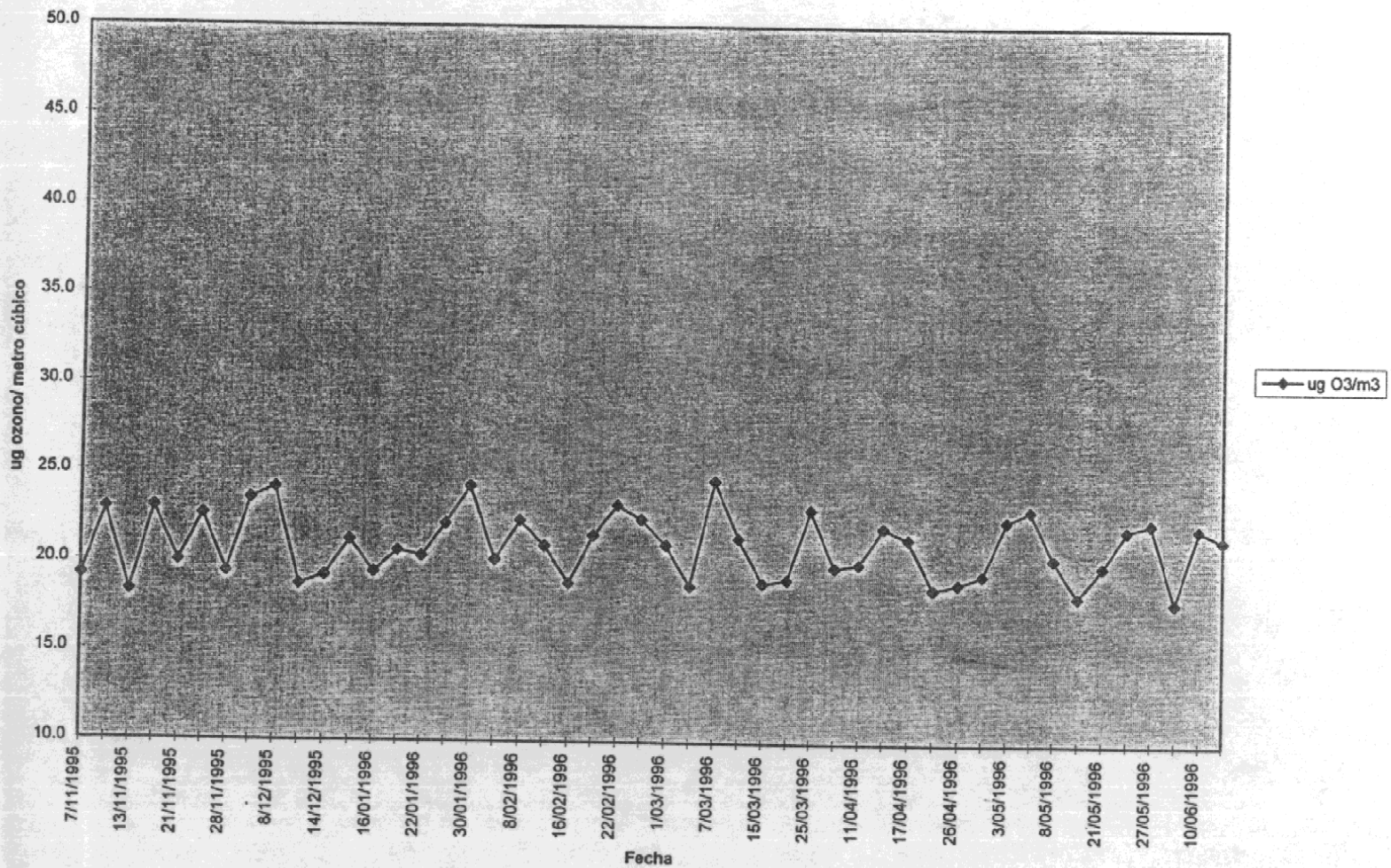
Variación de las concentraciones de ozono. Punto de referencia



Gráfica NO.3 - Fuentes: Tabla de Resultados No. 9, pag. 38

ANEXO 16

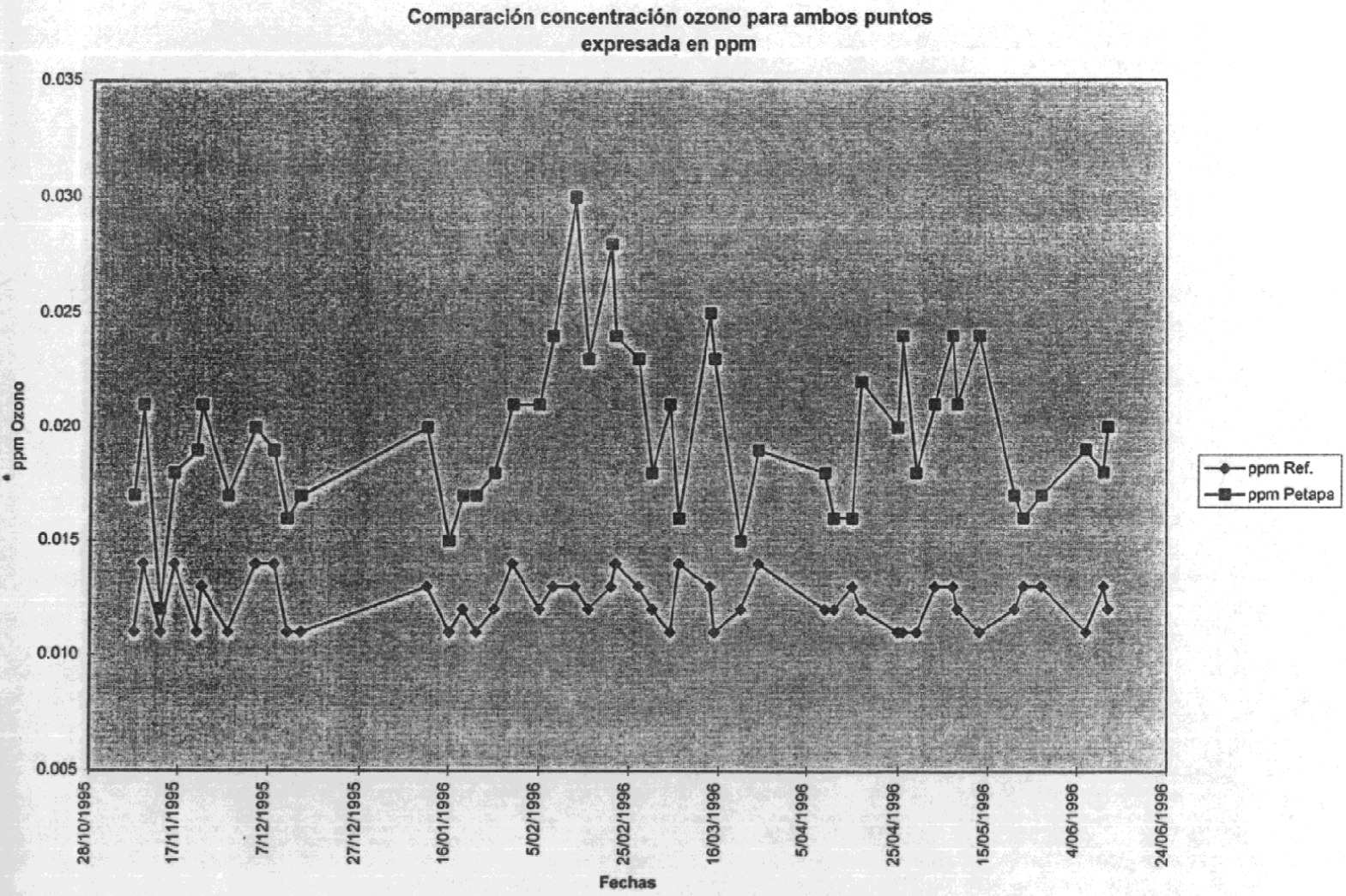
Variación en las concentraciones de Ozono. Punto de referencia



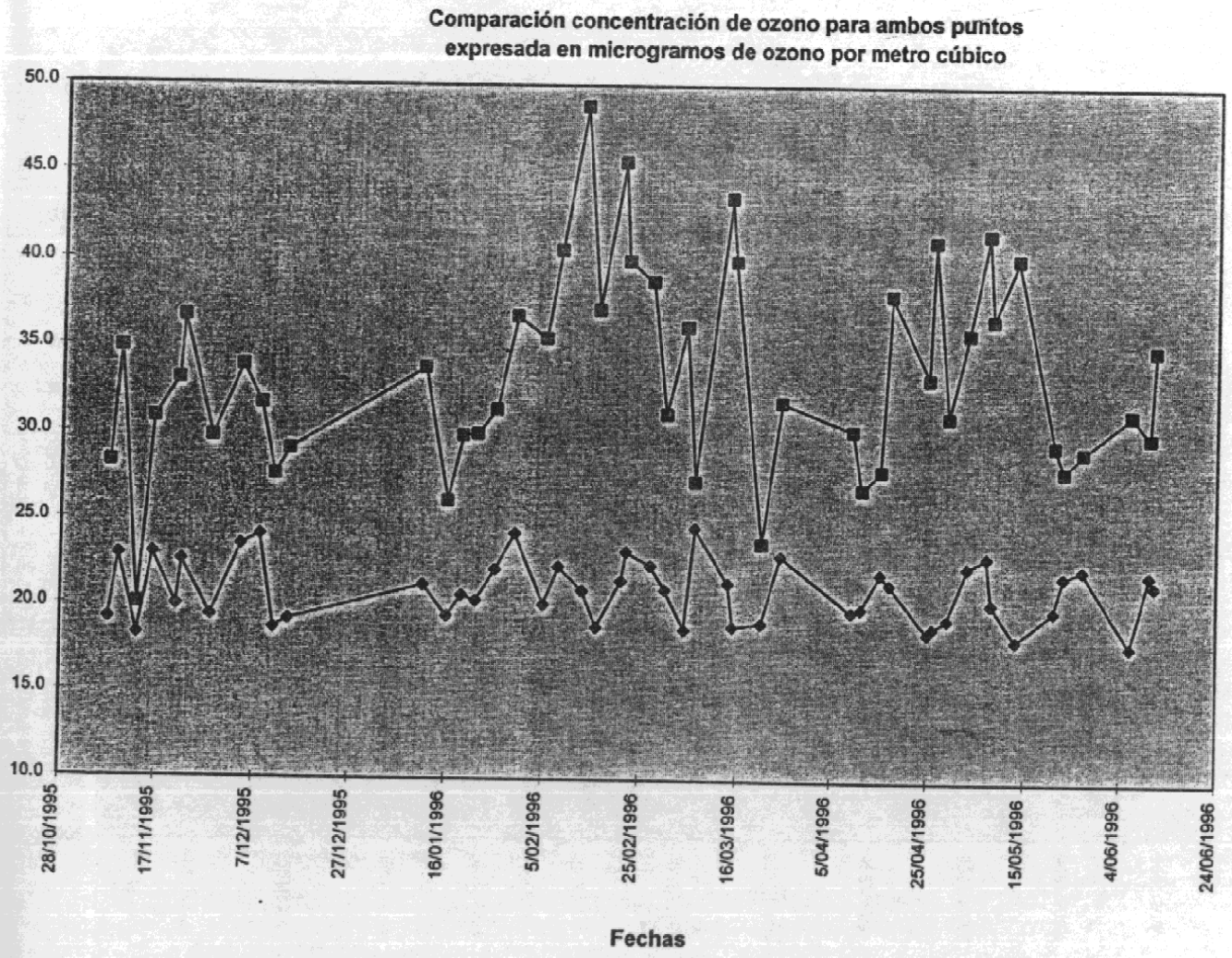
Gráfica No.4 - Fuente: Tabla de Resultados No.10, pag. 40

ANEXO 17

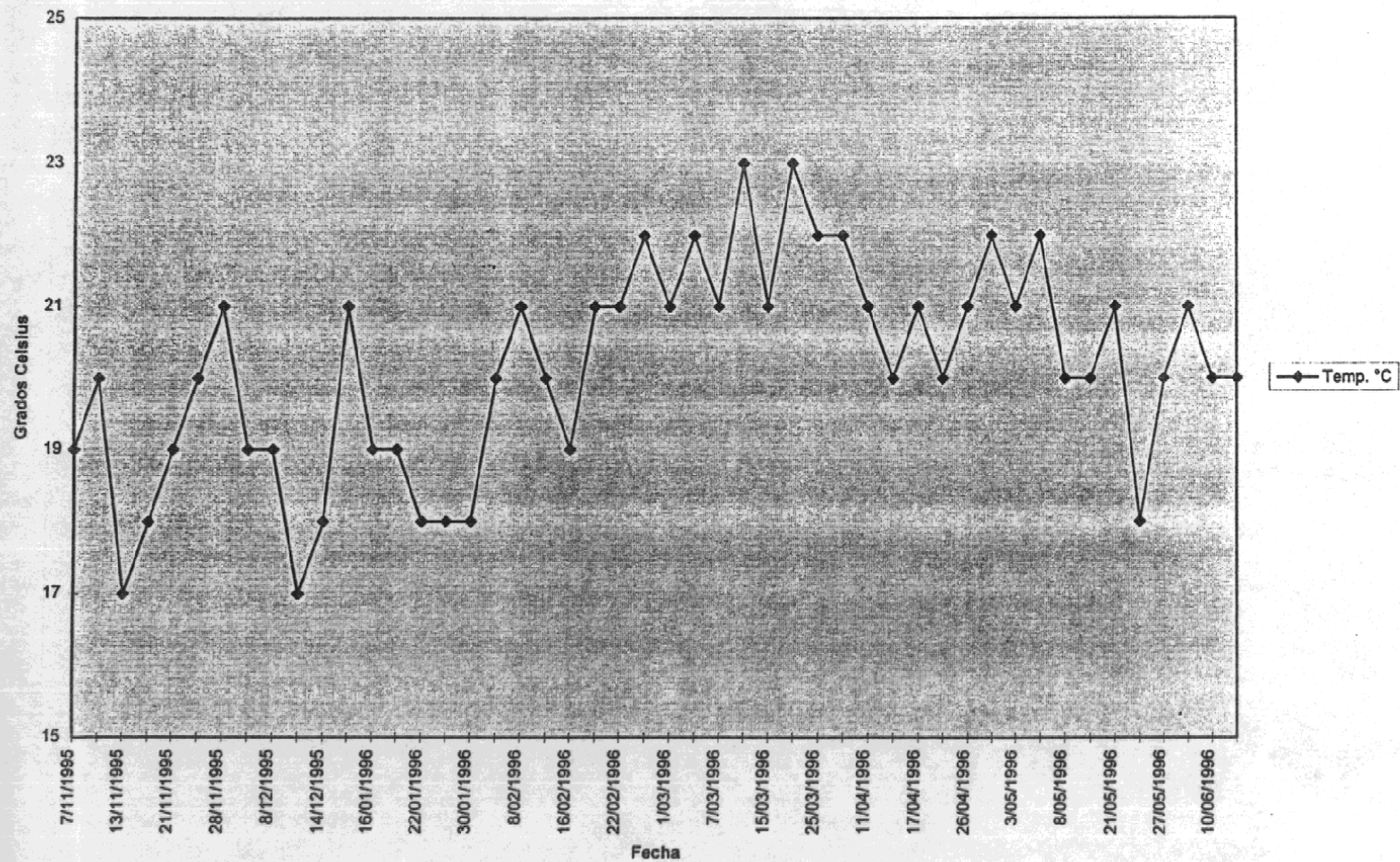
Gráfica No.5 - Fuente: Tablas de Resultados No.7 y 9, pags. 34 y 38



Gráfica No.6 - Fuente: Tablas de Resultados No.8 y 10, pags. 36 y 40

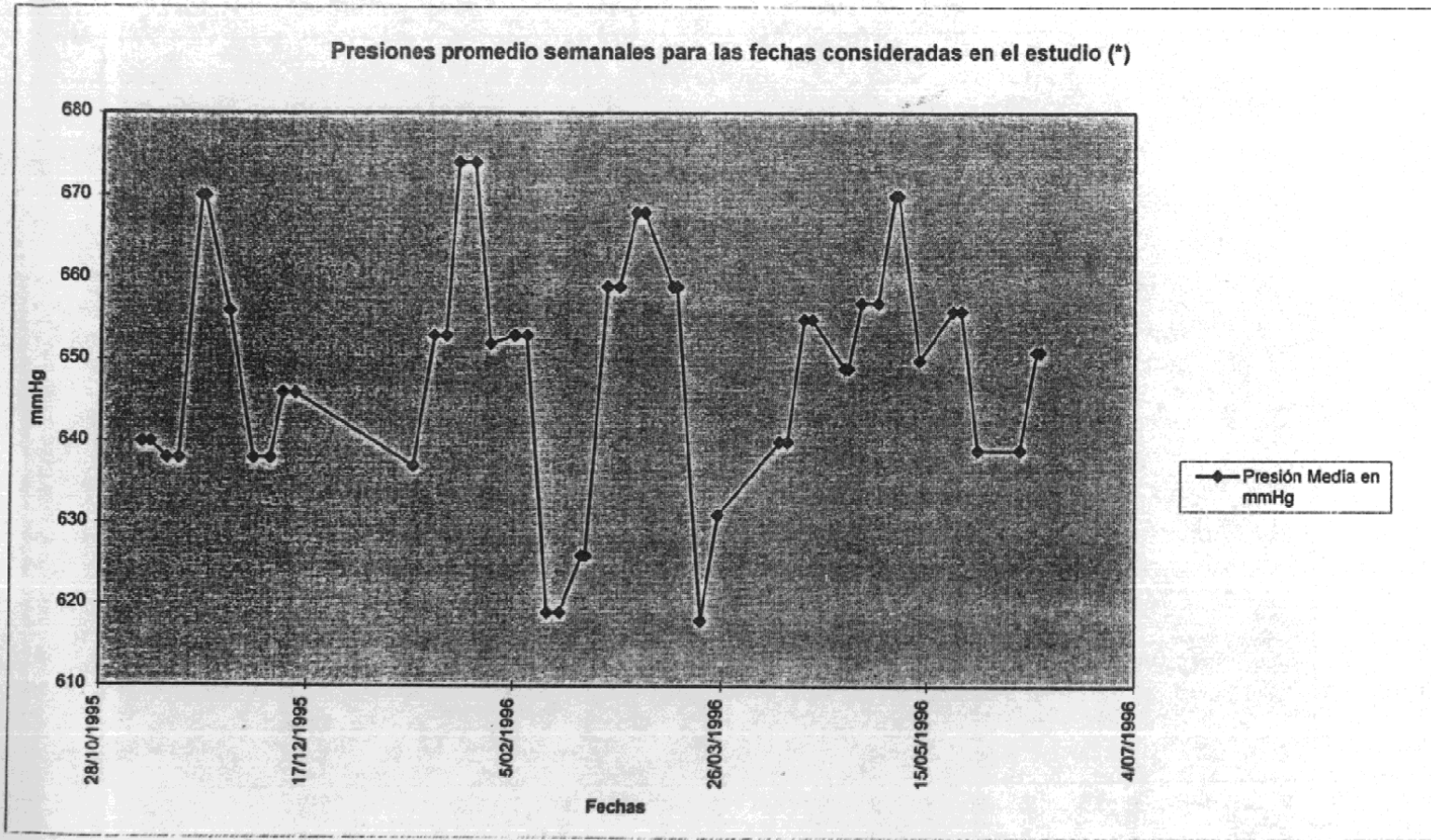


Variaciones en la temperatura durante el período de estudio. Registradas al momento de tomar las muestras



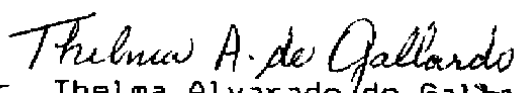
Gráfica No. 7

ANEXO 20

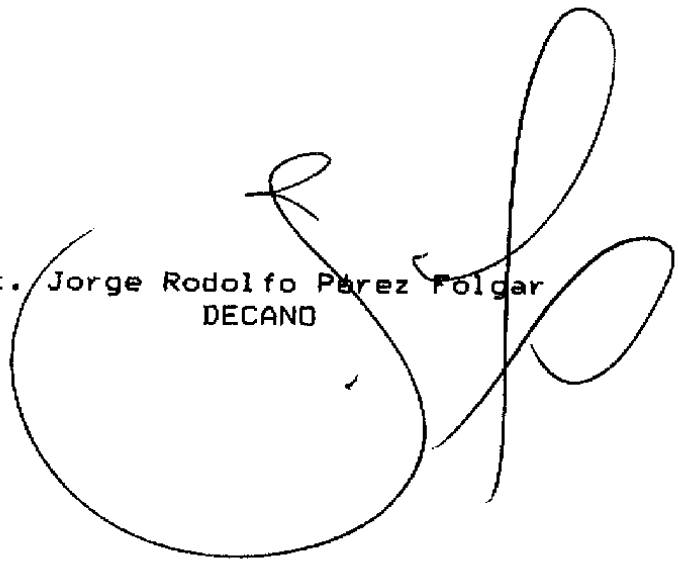


(*) Datos proporcionados por el INSIVUHME para presiones promedio semanales.


Br. Edwin Rodolfo Zuleta Cruz
AUTOR


Lic. Thelma Alvarado de Gallardo
ASESORA


Lic. Miguel Angel Herrera
DIRECTOR


Lic. Jorge Rodolfo Pérez Folgar
DECANO