



CONTAMINACION ATMOSFERICA

23 ABR. 1979

METEOROLOGO: SERGIO LAYMEN ROJAS.

INTRODUCCION.-

Las consecuencias perjudiciales sobre el medio ambiente que ocasiona el progresivo desarrollo industrial, incremento poblacional y explotación intensiva de recursos naturales, ha inducido al hombre a estudiar seriamente la interferencia de las actividades en los procesos naturales del medio ambiente.

Para atacar el problema, existe la necesidad de comprender mejor estos procesos naturales del medio ambiente, no sólo para utilizar los conocimientos que se adquieran, en la utilización eficaz de los recursos naturales, sino en garantizar que su explotación no interfiera indebidamente en los procesos naturales del medio ambiente, y también para reparar en parte el daño que ya se ha hecho.

Están comprendido en este daño, la contaminación del aire, las aguas, los suelos, y se encuentra amenazado, consecuentemente, el clima de la tierra.

Es la finalidad de esta breve exposición, dar algunos antecedentes sobre aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica, las actividades de la Organización Meteorológica Mundial que en este sentido ha estado desarrollando y algunos alcances al problema de contaminación atmosférica en Santiago.

ALTERACION DE LA COMPOSICION ATMOSFERICA.-

Cualquiera alteración de la composición atmosférica influirá en mayor o menor grado sobre las condiciones biológicas dependiendo de la cantidad y cualidad de los componentes comprometidos.

Como es sabido, la atmósfera, en general, es una mezcla de gases y partículas sólidas. Los gases forman una mezcla más o menos constante, mientras el número de partículas es muy variable como igualmente sus tamaños, que fluctúan entre 0,01mm y 1 mm. Comprende elementos que son vitales para la existencia del hombre, otros inocuos y no molestos, sin ser vitales, y los hay perjudiciales sin ser molestos.

Interesa particularmente conocer aquellos cuyas varia-

ciones en proporción, causan efectos nocivos a las especies biológicas y que ponen en peligro la vida humana en el planeta.

Las fuentes de suministro de contaminantes son muy variadas, pero pueden clasificarse en 2 grandes grupos:

- 1) Fuentes naturales de contaminación atmosférica; y
- 2) Fuentes artificiales de contaminación atmosférica.

De fuentes naturales pueden mencionarse los contaminantes provenientes de volcanes, desiertos, suelos, sales de evaporación de los océanos, de incendios forestales, combustión de carburantes y de incineración de desechos de incendios forestales, etc. De artificiales, los procedentes de la combustión de carbones, petróleo y gas.

Se pueden citar ejemplos notables de variaciones de cada uno de los contaminantes citados. En 1883, el volcán Krakatoa emitió decenas de toneladas de polvo que rodeó el globo alcanzando una altura de 50 km., encontrándose vestigios de ellos aún después de 3 años con lo que produjo una importante reducción de la radiación solar.

El polvo procedente de desierto y otras fuentes, transportado por el viento, se ha estimado en 500 millones de toneladas por año. Este material no logra alturas muy elevadas y en pocas semanas se deposita sobre el suelo, produciendo sólo efectos locales y poco duraderos. La sal, desprendida por los océanos mediante la evaporación se calcula en 1000 millones de toneladas por año. Las partículas originadas por la combustión de carbones, petróleo y gas, lanzadas a la atmósfera se estiman en alrededor de 20 millones por año. Si el total de dióxido de carbono incorporado a la atmósfera fuera acumulándose constantemente, habría ocurrido un aumento del 20% en los últimos 100 años, y ocasionado modificaciones en el clima. Felizmente, 2/3 son eliminados de la atmósfera gracias a la acción del océano y a los procesos biológicos.

Una de las más familiares manifestaciones de contaminación en las grandes ciudades es el smog, palabra que como sabemos deriva de los términos ingleses "Smoke" (humo) y "fog" (niebla), consagrada ya en 1905, por los habitantes de la ciudad de Londres, quienes desde los comienzos de la era industrial comenzaron a notarlo y a quejarse de él. Posteriormente los especialistas han introducido en la literatura de la contaminación atmosférica, la expresión "Smog fotoquímico", que es el resultado de la interacción de partículas sólidas y líquidas y agentes fotoquímicos derivados de hidrocarburos y óxidos nitrogenados lanzados por los tubos de escapes de los vehículos.

El smog de la ciudad de los Angeles posee estas caracte-

rísticas.

Otro de los agentes contaminantes más peligrosos es el anhídrido sulfuroso, que en concentraciones críticas tiene efectos nocivos sobre la salud.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD, SOBRE LOS VEGETALES Y SOBRE LOS MATERIALES.

A nadie escapará la conveniencia de medir la gravedad de los efectos perjudiciales sobre los procesos biológicos y en especial sobre la salud humana, que la contaminación atmosférica causa.

Pueden citarse con este objeto, algunos de los efectos más o menos confirmados de la contaminación atmosférica sobre la salud humana.

- Los productos de la combustión del petróleo, como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos, pueden producir cáncer. Algunos de estos productos intervienen en la formación de smog fotoquímico, que causa irritación de los ojos, aumenta los dolores físicos de los que padecen de enfermedades respiratorias y cardíacas. El monóxido de carbono ejerce su influencia biológica, inactivando la hemoglobina, y en consecuencia reduciendo la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre.
- Altas concentraciones de óxido de sulfuro, usualmente en presencia de partículas sólidas, parecen aumentar el riesgo de cáncer al pulmón y la intensidad del dolor de los que padecen de enfermedades respiratorias crónicas. Los ancianos, niños y enfermos parecen ser los más susceptibles a los óxidos de sulfuros. Las fuentes de suministro van desde la calefacción casera a la industria que mediante el uso de la combustión del carbón, genera potencia, refina aceite y otros productos.
- Aerosoles de muchos tipos, especialmente los de tamaños submicrónicos que son capaces de penetrar profundamente en el sistema respiratorio, sirven de transportadores de contaminantes gaseosos por absorción. Cuando se profundizan en los pulmones estos contaminantes combinados pueden causar dolores fisiológicos muchas veces mayores que cuando actúan solos. Las asma bronqueales, enfisemas y otros desórdenes exacerbados por tales sistemas combinados.

Algunos ejemplos, como el aumento de las defunciones y enfermedades en períodos de altas concentraciones de contaminantes en Londres y Nueva York, ilustran dramáticamente los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. En Londres se produjeron en el año 1952, 1.600 defunciones más de las habituales, por la persistencia de condiciones meteorológicas que impidieron la dispersión natural de los contaminantes.

Además de la salud, la contaminación atmosférica tiene efectos nocivos sobre la horticultura, el ganado y los metales. Puede destruir fábricas, reblanecer el cuero, agrietar el caucho, ensuciar la ropa y las casas, retardar o detener el crecimiento de los árboles, deteriorar las obras de arte (monumentos, pinturas, etc.), corroer los metales, etc.

Respecto a estas dos últimas acciones se puede mencionar las estimaciones efectuadas en Estocolmo, de la corrosión de los aceros, los cuales se deterioran dos veces más a prisa en la ciudad que en la costa, y cuatro veces más a prisa que en aire limpio; y el deterioro de obras históricas y de arte como el obelisco de la aguja de Cleopatra en Londres, trasladada desde Alejandría hace alrededor de 80 años, sufriendo más daños durante este período que durante todo el período anterior de 3.000 años. Cerca del acrópolis de Atenas ha debido suspenderse el tráfico automovilístico para evitar el deterioro del mármol de las estatuas y monumentos históricos.

CAMBIO CLIMÁTICO.-

La introducción de contaminantes a la atmósfera tiene además de los anteriores efectos, repercusiones en el clima local y global de la tierra.

En las urbes y zonas industriales, la presencia de una capa de humo produce una reducción de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra. Un hecho demostrativo que ilustra esta aseveración es el aumento en un 40% de la insolación en Londres a partir de la vigencia de la legislación sobre atmósfera limpia, en el año 1956. En cambio, durante la noche la capa de humo reduce la radiación de la tierra, y como consecuencia, ocasiona un aumento de la temperatura, bajo la capa de humo. Por otro lado los calefactores, durante el invierno aumentan la temperatura media del aire en la ciudad.

Estudios efectuados ultimamente, indican que los productos de escape de los aviones a propulsión a chorro, producen un aumento de las nubes cirrus (nubes altas sobre 5.000 m. generalmente formadas por cristales de hielo y vapor de agua) en las rutas aéreas más frecuentadas. Asimismo el vapor de agua y el óxido nítrico, productos de los mismos gases de escape, se estiman pueden modificar la cantidad de ozono en la estratósfera, el cual a ese nivel es beneficioso por cuanto filtra los rayos ultravioletas de la radiación solar.

De acuerdo a estadísticas climatológicas, se ha comprobado en ciertas zonas muy industrializadas, que la cantidad de precipitación es mayor que en las localidades vecinas, debido al aumento de aerosoles que actúan como núcleos de condensación.

La medición de la humedad relativa en las nieblas a menudo dan valores menores a 100%, particularmente en zonas industriales.

De donde se podría diferir que la contaminación atmosférica aumenta la incidencia y duración de las nieblas. El dióxido sulfúrico puede contribuir directamente a la formación de nieblas cuando la oxidación fotoquímica por luz ultravioleta es suficiente para producir trióxido de sulfuro que es altamente higroscópico.

En la escala global, las concentraciones de CO_2 y aerosoles, se estiman como probables factores modificadores del clima de la tierra.

Un aumento notable de la concentraciones de CO_2 puede afectar el clima, a través de un aumento de la temperatura media del aire, ya que estas concentraciones producen el conocido efecto de invernadero; deja pasar los rayos solares de radiación de longitud de onda corta e impide la radiación de onda larga a la atmósfera. Algunos autores hacen responsables al aumento de las concentraciones de dióxido de carbono, del aumento de temperatura media experimentado en el Hemisferio Norte durante los primeros decenios del presente siglo, alcanzando un máximo el año 1940. Posteriormente la temperatura ha experimentado un decrecimiento, que podría atribuirse a incremento de partículas sólidas que sobrepasarían la influencia del dióxido de carbono. (ver figura adjunta).

Recientemente dos científicos del laboratorio químico de Boulder, Colorado, los doctores Rudolf F. Pueschell y Helmut E. Weikmann, concluyeron que si el hombre continúa inyectando aerosoles - finas partículas aéreas - a la atmósfera en una relación constante de aumento, la cantidad de aerosoles artificiales en la atmósfera puede igualar a los aerosoles naturales dentro de 23 años. Sin embargo, creen que el esfuerzo del hombre en la lucha contra la contaminación, puede poner la situación bajo control, antes de que transcurran los 23 años. Basaron sus estimaciones, en el cálculo del tiempo de permanencia en la atmósfera de diferentes aerosoles. Por ejemplo, algunos como el plomo procedente del escape de los vehículos, son rápidamente eliminados por precipitación. Otros, como los pesticidas, permanecen por meses o años.

Por otro lado, los científicos de la Universidad de Standford estiman que los procesos naturales producen alrededor de 2.000 millones de toneladas de aerosoles al año, (88,5 % del total) contra 270 millones de toneladas métricas producidas por el hombre (11,5%).

Pueschell y Weikmann calcularon que el total de aerosoles enfría la tierra en aproximadamente $1,3^\circ\text{C}$, alcanzando los efectos de la contribución del hombre a sólo $0,13^\circ\text{C}$. Si el constante aumento de energía alcanzase niveles de un 10% anual, afirman que, en 23 años la producción de aerosoles igualará la producción natural. Aunque no es probable que por esta zona se produzca un enfriamiento significativo del

//////.-

planeta, los expertos nombrados hacen un llamado a los científicos para que comiencen de inmediato a examinar de qué manera los contaminantes de los centros urbanos influyen en el clima local.

Aún son más especulativas, las conclusiones del profesor Budyko, quien de acuerdo a cálculos, afirma que una reducción de la influencia de la radiación del orden del 1,5 a 2 %, provocaría la transición de dos condiciones climáticas, a saber,

- 1) Una caracterizada por temperaturas relativamente altas con total ausencia de glaciaciones, y
- 2) Otra caracterizada por bajas temperaturas en todas las latitudes, con glaciación total.

A través de la teoría climática que fundamenta estas dos condiciones y a la variabilidad actual de límites de los hielos polares se llega a la conclusión que el clima que existe al presente desde hace un millón de años, es inestable. Este período es relativamente pequeño comparado con los cientos de millones de existencia de la primera condición. Teniendo en cuenta la cifra de reducción de radiación antes mencionada, necesaria para pasar de una condición a la otra, afirma Budyko que debería evaluarse las repercusiones que en el futuro pudieran tener pequeños cambios climáticos globales, como consecuencia de las actividades humanas.

Entre estos cambios merecen especial atención los siguientes

- 1) Reducción de la transparencia atmosférica debido al polvo en suspensión.
- 2) Reducción de la transparencia atmosférica debido a la concentración creciente del dióxido de carbono y,
- 3) Aumento de temperatura debido a la multiplicación de la producción de energía.

La primera puede producir, un aumento de la temperatura del aire. En figura adjunta, puede observarse un gráfico que muestre un aumento de la temperatura hasta el año 1940, en el Hemisferio Norte entre las latitudes 17° y 90°/-

ASPECTOS METEOROLOGICOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

El papel de los factores meteorológicos es extremadamente complejo. Sin lugar a dudas participa en todas las etapas del ciclo de la contaminación, el que puede sintetizarse en las siguientes fases:

- 1) Emisión.
- 2) Difusión.
- 3) Transporte.
- 4) Recepción.

De la primera, puede mencionarse la dependencia que existe

entre la temperatura ambiente y la emisión de contaminantes por combustión de carburantes naturales. La segunda puede ejemplificarse, por la relación estrecha existente entre la temperatura y humedad y la difusión de ciertos gases. En el transporte, es obvia la influencia que ejerce la velocidad y tendencia del viento. Finalmente, se puede citar para la última fase, la influencia de la estabilidad del aire en los grados de eficacia de las chimeneas para diluir la contaminación.

Examinaremos brevemente algunos de los principales factores meteorológicos:

Efecto del viento.

El papel que juegan las principales corrientes de aire de la circulación general en el transporte de polutante es evidente. Los vientos del valle y montaña contribuyen a aumentar o disminuir las concentraciones de contaminantes. La ciudad de Los Angeles en U.S.A. es un ejemplo de este tipo de influencia.

En general la contaminación disminuye con el aumento de la velocidad del viento. Según experiencias, se ha encontrado que la concentración es mayor viento abajo del centro de las ciudades, pero que los puntos de máxima concentración no sobrepasan los 800 m., desde el centro de la ciudad. Estos resultados sugieren que la difusión vertical de la contaminación mediante mezcla turbulenta, es un factor importante en la contaminación superficial. De ahí que el conocimiento de la estructura media y turbulenta del campo del viento en áreas urbanas es fundamental para comprender el transporte y dilución de la contaminación. En principio, la medición del viento es sencilla pero en la práctica es difícil, puesto que varía en tres dimensiones y en el tiempo y está afectada también por la localización y las características del sensor. Para seguir la trayectoria del aire se ha utilizado globos de volumen constante rastreados por radar para una capa de 100 a 500 metros.

Efectos de la estabilidad atmosférica.

El efecto inmediato de la estabilidad del aire sobre la contaminación superficial de la ciudad depende de si la capa estable se encuentra en superficie o en altura. La inversión en altura inhibe la difusión vertical de contaminantes por procesos turbulentos y desarrolla extensas contaminaciones. En figura adjunta, se puede apreciar esta diferencia.

Hay evidencia de que la variación diurna de la estabilidad y por consiguiente de la turbulencia, influencia de la contaminación de fuentes múltiples. Muy temprano en la mañana la contaminación es baja,

seguida a media mañana de un máximo. A continuación ocurre un mínimo alrededor de las 14 hrs., alcanzando otro máximo hacia las 20 hs.

Efectos de la Lluvia.-

Las lluvias, como resulta lógico pensar, contribuyen a la limpieza del aire, arrastrando a los contaminantes hasta la superficie del suelo. Sin embargo, algunos autores, estiman que las precipitaciones sólo tienen un efecto relativo de limpieza del aire, porque gran parte de los contaminantes se concentran, por efecto de la lluvia, en las capas próximas al suelo, sin depositarse.

EFFECTOS TOPOGRAFICOS.

Conjuntamente con los factores meteorológicos, no puede dejar sin mencionarse los efectos de la topografía, la que en condiciones meteorológicas determinada puede contribuir a incrementar o aliviar las concentraciones de contaminantes.

En un valle, por ej.: bajo condiciones atmosféricas estables pueden desarrollarse series concentraciones, sirviendo las laderas de los cerros circundantes como verdaderas barreras físicas que dificultan la difusión lateral. Una situación de este tipo, se produjo entre el 19 y 5 de Diciembre de 1930 en el valle Meuse, Bélgica, con efectos trágicos. Vientos débiles llevaron los contaminantes de la ciudad de Lieja y de las plantas industriales vecinas hasta una angosta zona del valle. Las condiciones fueron tan severas allí que varios cientos de personas sufrieron agudas perturbaciones respiratorias y 63 murieron entre el 04 y 05 de Diciembre.

Las acumulaciones altas de contaminantes son más probable que ocurran en las localidades del interior, donde en general, los vientos de superficie son más débiles que cerca de la costa.

PRONOSTICO DE LA CONTAMINACION DEL AIRE.

Desde el punto de vista meteorológico, consiste en predecir las condiciones que favorecen las concentraciones de contaminantes. Los sistemas que presentan aquellas condiciones son los correspondientes a sistemas de alta presión con sus vientos de baja velocidad, sus inversiones de temperatura (reducción de la convección), escasez de nubes y falta de precipitación.

Se han hecho algunos esfuerzos para pronosticar tales condiciones. Particularmente en aquellas ciudades donde el problema ha adquirido proporciones peligrosas, o en aquellas donde el fenómeno ha experimentado un avance creciente durante los últimos años, debido al desarrollo industrial y la urbanización.

//////////.-

En este sentido puede citarse el uso de los métodos para pronosticar la niebla en Los Angeles en el desarrollo de una técnica para prever condiciones de smog. El estudio se inició con la derivación de un índice de smog expresado en términos de variables meteorológicas

$$S = \frac{10 (T_D + 10)}{KW} \left(\frac{I}{V} \right)^{1/2}$$

donde T_D = desviación en grados Fahrenheit de la temperatura media de 24 hr. de la temperatura media para aquel día particular del año;

K = humedad relativa al medio día;

W = movimiento total del viento en 24 horas en millas;

V = visibilidad al medio día en millas; y

I = intensidad de la inversión obtenida de la ecuación.

$$I = \frac{(\Delta \theta)^2}{3 + 2 \Delta z}$$

donde $\Delta \theta$ = cambio de la temperatura potencial en grados Kelvin a través de la capa de inversión;

z = altura de la base de la inversión, en hectómetros;

Δz = espesor de la capa de inversión, en hectómetros.

Este índice condujo a un método de pronóstico del smog, mediante la relación entre la presencia y ausencia de smog y los movimientos de aire y presiones en altura.

En la ciudad de Denver, U.S.A., se recomienda restringir la producción de contaminantes, cuando se desarrollan en el valle condiciones atmosféricas estables. Tales condiciones se anticipan cuando se anticipa lenta y extensamente un anticiclón al este de U.S.A.; y cuando en adición, la estabilidad del aire excede un valor específico, los vientos del valle y de alturas son leves y menor que valores especificados y niebla moderada - a densa - persiste en el valle pasado el medio día.

Como se observa, la flexibilidad de las operaciones para restringir la producción de contaminantes en las industrias y otras fuentes, juega un papel importante en la reducción de las concentraciones en tales condiciones meteorológicas.

Finalmente, se puede ilustrar uno de los actuales procedimientos utilizados en Estados Unidos. En dicho método se hace uso del concepto "potencial" de la contaminación atmosférica en función de condiciones meteorológicas únicamente. Se define como un conjunto de condiciones meteorológicas a gran escala que concurrirían a la ocurrencia de la propagación de elevadas concentraciones de contami-

//////////.-

nantes emitidos por múltiples fuentes de la mayoría de las comunidades.

El criterio meteorológico aplicado fue el iniciado por Niemeyer (1960).

- 1.- Vientos de superficie menor que 8 nudos.
- 2.- Vientos en altura hasta 500 mb., de 25 nudos o menos.
- 3.- Subsistencia bajo 600 mbs.
- 4.- Ocurrencia de las condiciones anteriores sobre un área al menos de un rectángulo de 4º de longitud - latitud y pronóstico de persistencia al menos de 36 horas.

Estas condiciones ocurren comúnmente con anticiclones casi estacionarias, que se asocian con épocas de elevada contaminación aérea.

Posteriormente, se ha intentado mejorar este método en base a criterios más objetivos. Actualmente los principales parámetros en esta técnica son la altura de mezcla y la velocidad media del viento a través de la capa de altura de mezcla. La altura de mezcla de la tarde se estima como la altura sobre la superficie en que la extensión de la adiabática seca de la temperatura máxima de superficie intercepta el perfil de temperatura vertical observado temprano en la mañana. La altura de mezcla de la mañana (urbana) se estima en la misma forma excepto que la temperatura mínima de superficie más 5º C., se usa en lugar de la temperatura máxima. La adición es para compensar la diferencia de temperatura mínima y urbana rural (la mayoría de los radiosondas en USA. están en localidades no urbanas), y también por cierto calentamiento solar después de la salida del sol.

Con un computador de alta velocidad, el Centro Meteorológico Nacional diariamente calcula las alturas de mezcla y las velocidades de viento de la red de estaciones de radiosonda. El pronóstico tiene validez para 24 horas.

Los criterios corrientes para pronosticar elevado potencial de contaminación del aire, en adición a los originales de Niemeyer son los siguientes:

- I.- Pronóstico de Condiciones en la mañana y subjetivamente pronóstico para la mañana del día siguiente.
 - A.- Velocidad media del viento a través de la altura de mezcla 4.0m/Seg. o menos.
 - B.- Altura de mezcla urbana de 500 m. o menos.
- II.- Pronóstico para la tarde y en la tarde del día siguiente.
 - A.- Velocidad media del viento a través de la altura de mezcla 4.0 m/seg. o menos.

//////////.-

- B.- Ventilación (altura de mezcla x velocidad media del viento)
6.000 metros cuadrados/seg. o menos.
- III.- Pronóstico por un período de 36 horas.
- A.- Valores pequeños de vorticidad de 500 mb. y sus cambios en 12 Hrs.
- B.- Ninguna precipitación significativa.

LA ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM.), organismo especializado de las Naciones Unidas, considerando que la atmósfera es un elemento esencial del Medio Ambiente Humano, a puesto al servicio de los países miembros todos sus recursos, para su mejor preservación. Mediante la cooperación internacional, está desarrollando un vasto programa de observaciones meteorológicas a través de un sistema denominado Vigilancia Meteorológica Mundial. Este sistema consta de alrededor de 8.500 estaciones terrestres, 5.500 buques mercantes, aviones, buques meteorológicos, estaciones meteorológicas automáticas, satélites meteorológicos, etc. Se fundamenta, además en un sistema mundial de telecomunicaciones y un sistema mundial de preparación de Datos. Este último cuenta con tres Centros Meteorológicos Mundiales (Melbourne, Moscú, Washington) 20 Centros Meteorológicos Regionales, 130 Centros Meteorológicos Nacionales. Actualmente, la OMM., trabaja en perfeccionar el sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial, lo que redundará en beneficio de los Servicios Meteorológicos Nacionales.

CONTROL Y MEDIDA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA..

Dentro de la Vigilancia Meteorológica Mundial, se ha creado una red de estaciones para medir la contaminación del aire. La OMM. adoptó esta resolución en la vigésima primera reunión de su Comité Ejecutivo, efectuada en Ginebra en 1969. Se tuvo en consideración en aquella ocasión las siguientes razones:

- 1) El aumento de la contaminación atmosférica,
- 2) La necesidad de medir los diversos grados de contaminación en las zonas en las que el aire es relativamente puro (contaminación general).
- 3) Las estaciones establecidas desde el Año Geofísico Internacional resultan inadecuadas para resolver el problema mundial.

En conformidad a estas consideraciones se recomendó a cada país miembro el establecimiento de una o más estaciones de medida de la contaminación general, para lo cual debería sujetarse a un Programa elaborado por la OMM.

Para realizar esta labor, la OMM,

- 1) facilitará asistencia a los Países Miembros que acepten la responsabilidad de iniciar y efectuar los trabajos;
- 2) ayudará a los países miembros que no poseen los laboratorios adecuados a obtener las instalaciones en otros países para analizar

//////////

sus muestras;

- 3) dar la responsabilidad de la concentración y publicación central de los datos de la red a algunos de los países miembros que deseen asumirla.

La Asociación Regional Meteorológica IIIa. de la OMM. encargada de coordinar las actividades meteorológicas de América del Sur, tomando nota de esta Resolución y en consideración a:

- 1) el incremento de la contaminación atmosférica y el agua,
- 2) necesidad de evaluar el efecto de la urbanización y la industrialización en varias regiones de América del Sur.
- 3) necesidad de realizar estudios climatológicos de la contaminación potencial del aire destinados a la planificación urbana y al desarrollo de medios para el pronóstico local de contaminación atmosférica.
- 4) la conveniencia de que se asigne la consideración adecuada a la meteorología en todos los discusiones y programas relativos a los problemas del medio ambiente humano;

Recomienda a los países Miembros que establezcan en sus respectivos países una o más estaciones para la medición de la contaminación atmosférica, de acuerdo a la Resolución II (E.C. - XXI); e invita a los Países Miembros a iniciar o continuar desarrollando la participación de sus Servicios Meteorológicos en todos los asuntos relativos a la defensa del medio ambiente en sus respectivos países, y a cooperar con los otros Miembros para alcanzar los mismos objetivos en la Región.

ESTACIONES DE MEDIDAS DE LA CONTAMINACION GENERAL.

La OMM., encargó a un Grupo de Trabajo la elaboración de un Manual sobre el Establecimiento y operación de un programa monitor de contaminación del aire, que serviría de guía a todos los Miembros.

La primera parte de este manual ya ha sido publicada, y se refiere al programa especificado para las estaciones de contaminación. Contiene además, los principios de mediciones de la turbidez atmosférica, incluyendo una descripción de los métodos que se emplean en los instrumentos de radiación solar directa y el Heliófotómetro tipo Volz. Finalmente se describen las técnicas de muestreo y análisis de la precipitación para determinar su composición química. La parte segunda aún no publicada, trata del programa de mediciones en las estaciones básicas de contaminación y de las técnicas de muestreo y análisis.

Dentro del programa especificado para estaciones de contaminación se han establecido dos categorías de estaciones:

- 1) Las estaciones básicas de contaminación atmosférica. Tiene por

//////////.-

objetivo determinar las tendencias a largo plazo de la composición atmosférica. Para que las mediciones sean comparativas entre las de una estación y otra, se ha propuesto una serie de criterios, que no serán mencionados en esta breve exposición, (Ver Manual de Operaciones de la OMM., No 299).

- 2) Estaciones regionales de contaminación atmosférica. El fin primario de estas estaciones es obtener información de los cambios a largo plazo en la composición atmosférica que puedan relacionarse a los cambios en las prácticas del uso de la tierra u otras actividades.

Programa Mínimo.

En consideración a que la observación y el análisis de ciertos constituyentes atmosféricos son complejos y costosos, se ha propuesto iniciar el sistema de observaciones con un programa mínimo, que incluye sólo las mediciones atmosféricas de dióxido de carbono, turbidez del aire y constituyentes de la precipitación.

Las mediciones de dióxido de carbono, por su larga permanencia en la atmósfera y por el hecho de no ser un buen indicador de la contaminación regional, se han restringido a las estaciones básicas.

La turbidez de la atmósfera se define como la transparencia reducida de la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la radiación por partículas sólidas o líquidas en suspensión distintas de las nubes. Ella nos da de esta manera una medición indirecta de la cantidad de aerosoles atmosféricos. El instrumental requerido es relativamente barato y fácil de operar, lo cual ha influido para seleccionar el parámetro de turbidez dentro del programa mínimo. En el Manual de la OMM., se describe la determinación de los parámetros de la turbidez atmosférica en base a las mediciones de radiación solar directa mediante el uso del pirheliómetro Angström y el heliofotómetro tipo Volz.

En el muestreo y análisis de la precipitación, se evalúan los constituyentes químicos de la precipitación, enfatizándose la determinación de aquellos que permiten el reconocimiento de contaminantes. Entre ellos se consideran de importancia;

- 1) Los sulfatos, que permiten el reconocimiento del dióxido de sulfuro, liberado a la atmósfera por la combustión de combustible fósiles.
- 2) Los compuestos nitrogenados, que pueden ser liberados a la atmósfera como amoníaco u oxidados hasta óxidos de nitrógeno por la combustión de hidrocarburos.
- 3) Los iones cloro, sodio, potasio, magnesio, y calcio, considerados como contaminantes. Los dos primeros derivan de la espuma del mar. Los iones calcio y potasio se originan del polvo del

////////////////////.

desierto y regiones semi-áridas y de áreas agrícolas intensamente cultivadas.

- 4) El Ph: Tanto los sulfatos como los compuestos nitrogenados se transforman en fuertes ácidos al incorporarse a la precipitación; reduciendo de esta manera el Ph de la precipitación.
- 5) La conductividad eléctrica, que está relacionada casi linealmente a las sales disueltas.

En el Manual, se describen algunas técnicas y recomendaciones sobre la manipulación del instrumental colector y almacenamiento de las precipitaciones.

LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN NUESTRO MEDIO.

A la fecha los estudios de la contaminación atmosférica en el país, se han concentrado en la ciudad de Santiago. Esta inquietud se ha debido al aumento progresivo de contaminantes durante las últimas décadas, a consecuencia del desarrollo urbano e industrial. Con frecuencia los habitantes de Santiago, al transitar por el sector céntrico, se quejan de irritaciones a los ojos y molestias a las vías respiratorias, particularmente durante los días fríos y estables de otoño e invierno. Para nosotros es familiar, observar desde un lugar elevado de la cuenca de Santiago, la ciudad cubierta con una espesa bruma durante estos días. Incluso, estas condiciones prevalecen en días de verano.

Consecuente de la necesidad de tomar medidas para controlar y reducir la contaminación del aire en Santiago, el Gobierno ha encargado a las Instituciones competentes que realicen estudios de la contaminación. Las Universidades, igualmente, han hecho suya esta preocupación, iniciando o continuando investigaciones sobre los factores que influyen en la concentración de contaminantes.

Se crea como primera medida gubernamental en el año 1970, la Comisión Nacional de Contaminación Ambiental, que abarca el estudio de la contaminación de las aguas, tierra y atmósfera. Paralelamente efectúan trabajos relativos a la contaminación atmosférica, mediante convenios cooperativos, la Dirección Meteorológica de Chile, el Instituto de Geografía de la Universidad Católica y el Servicio Nacional de Salud a través de la Sección Higiene y Medición del Trabajo e Instituto de Higiene Ambiental. También se ha celebrado la cooperación entre la Dirección Meteorológica de Chile y el Instituto Geofísico de la Universidad de Chile.

Para dar una idea del avance de los trabajos desarrollados por las instituciones antes nombradas, se exponen a continuación algunas conclusiones obtenidas :

////////////////////.-

1) Las observaciones efectuadas por el SNA en el centro de Santiago (terrazas de los edificios donde funcionan la Dirección General del Servicio Nacional de Salud y el Laboratorio del Instituto de Higiene del Trabajo y Contaminación del Aire), basados en datos que se extrajeron de la publicación del Instituto de Higiene del Trabajo, (IHTCA) "Contaminación Atmosférica en Santiago"; han dado los siguientes resultados:

- Anhídrido Sulfuroso: el promedio diario encontrado es de 0,115 mgr/m³.

De acuerdo a criterios internacionales adoptados, las concentraciones superiores a 0,130 mgr/m³ no afectan a los individuos. Sin embargo, se registraron cantidades excepcionales de SO₂, como por ejemplo, el día 20 de Julio de 1971, la cantidad medida fue de 0,314 mgr/m³. El año 1973, hubo un día con 0,158 mgr/m³.

- Polvo en Suspensión: para este contaminante, el Instituto de Higiene del Trabajo y Contaminación Atmosférica (IHTCA) adoptó como valor máximo de promedio diario permisible 0,150 mgr/m³ para los meses fríos y, de 0,080 mgr/m³ para los meses cálidos. En 1971 hubo 20 días con concentraciones sobre el promedio máximo establecido.

- Polvo Sedimentado: Según los criterios internacionales se ha aceptado como permisible la cantidad de 0,700 mgr/cm² mensual, para ciudades de 3 millones de habitantes. Para Santiago, se concluyó de acuerdo a esta pauta, que su concentración alcanzaba valores moderados.

También el Instituto de Higiene del Trabajo y Contaminación Ambiental, ha dado algunas conclusiones generales, como las siguientes:

a.- ... "la contaminación en Santiago puede considerarse moderada o en fase de desarrollo".

b.- ... "La contaminación atmosférica provocada por la actividad del transporte puede considerarse alta", ..."

c.- "... en calles de gran tráfico y las de tráfico de locomoción colectiva, se encontró el doble de concentración que en las calles de tránsito particular ..."

"... posiblemente una distribución tipo Remodelación San Borja podría producir una dilución más rápida de los gases procedentes de vehículos".

2) Las estadísticas climatológicas de observaciones de vientos, hechas en las estaciones de la Dirección Meteorológica en Cerrillos y Quinta Normal, revelan el siguiente cuadro climático para Santiago:

////////////////////-

- a.- Predominio en superficie, de calmas y vientos débiles en horas de la mañana.
- b.- Predominio en superficie, de vientos del Sur y Suroeste durante la tarde.

Por otra parte, los análisis de cartas sinópticas, revelan períodos de regímenes anticiclónicos persistentes e intensos durante los meses fríos, particularmente en otoño. Estos sistemas en las latitudes medias se caracterizan por aire estable, vientos débiles y marcadas inversiones de temperatura. En figura adjunta puede observarse la acentuada inversión ocurrida el día 20 de Julio de 1971, que coincidió con una medición excepcionalmente alta de dióxido de sulfuro. ($0,314 \text{ mgr/m}^3$). Además, puede verse en este mismo sondeo aerológico, practicado en la estación de Quintero algunos de los siguientes aspectos: que el espesor de la capa de inversión es de 607 m.; que la diferencia de temperatura entre la superficie y el nivel superior es de 12°C ; que la humedad relativa de la superficie, (100%) disminuye rápidamente dentro de la capa; que el viento, de calma en superficie, aumenta su velocidad levemente hasta los 1.100m en 5 nudos y, sobre los 1.500m. se mantiene en un largo tramo entre 10 y 15 nudos y que la dirección del viento varía de SE a NW los 150 m., y a WNW sobre los 3.000 m. Debe en todo caso, tenerse presente que el sondeo fue efectuado sobre la Estación de Quintero, pudiendo estas condiciones variar para la ciudad de Santiago, en razón de la influencia topográfica y grado de industrialización y urbanización. Sin embargo se conservan los rasgos generales del perfil de temperatura y los vientos débiles de los sistemas anticiclónicos.

- 3) De otra parte, los estudios efectuados por el Departamento de Geofísica y Geodesia de la Universidad de Chile, sobre las condiciones aerológicas en Santiago y la contaminación atmosférica, dieron, entre otros, los siguientes resultados:
 - a.- Componentes del E en altura (Vaguada Térmica).
 - b.- Vientos del SW bajo la inversión en el día (profundidad de hasta 300 y 400 m.).
 - c.- Flujo del E en delgada capa superficial durante la noche. (Sobre los 1.000 m., con intensificación de vaguada).
 - d.- Viento predominante del NW sobre los 1.500 m.

DISPOSICIONES LEGALES PARA CONTROLAR LA CONTAMINACION DEL AIRE.

A la fecha ya se han dictado algunas disposiciones tendientes a preservar la calidad del aire, particularmente en las ciuda-

////////////////////.-

des. En el Reglamento Nº 702 y Decreto 190 del año 1957, se establecieron normas sobre las condiciones sanitarias mínimas en las industrias y sobre la operación de calderas y generadores de vapor.

Mediante el Decreto 144 del año 1961, el Servicio Nacional de Salud estableció normas con la finalidad de evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza. En el Plan Regulador Intercomunal - Decreto 2387 del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo - se contemplan diversas disposiciones destinadas a evitar la concentración de contaminantes. Durante el presente año, la Honorable Junta Militar de Gobierno, emitió un bando, por el cual se prohíbe y sanciona la quema de hojas en la vía pública y recintos privados y públicos.

CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN SANTIAGO.

Sin duda alguna, Santiago está destinada a ser una de las ciudades de Sud-América, con mayor contaminación atmosférica si no se toman a tiempo, medidas adecuadas de control. Reúne en la actualidad, todos los requisitos que favorecen la contaminación, como son las condiciones meteorológicas y topográficas, la creciente concentración industrial, la proliferación del transporte y el aumento de la población con la consiguiente expansión del área urbana.

La situación de valle. con el centro de la ciudad ubicado en su máxima depresión, favorece el estagnamiento de masas de aire frío en su lecho, particularmente en los meses de otoño e invierno, reduciendo la velocidad del viento y creando acentuadas inversiones de temperaturas. Las laderas de los cerros circundantes, hacen de barrera a la dispersión lateral, y además determinan circulaciones de vientos locales, de montañas al valle y vice-versa, semejante a la ciudad de Los Angeles en Estados Unidos.

Esta afecta, además, al régimen del anticiclón semi-permanente del Pacífico Sur Oriental, que como ya lo hemos expresado, se caracteriza por aire estable, vientos débiles, escasez de nubes y especialmente por la presencia de grandes inversiones de temperatura. Al parecer, no se han tomado en cuenta estos dos últimos factores de contaminación, - topográficos y meteorológicos - en la planificación urbana, ya que se ha concentrado la mayor cantidad de industrias justamente a barlovento de Santiago (áreas Sur, SW, y E), situación que justamente es la menos recomendada, por cuanto al moverse el aire desde esas direcciones, transporta los contaminantes hasta el centro de la ciudad.

Es por consiguiente absolutamente necesario planificar el desarrollo urbano en Santiago, en base a los factores anteriormente nombrados y establecer un sistema eficaz de vigilancia de la calidad del aire.

////////////////////.

En el futuro Plan de Desarrollo Urbano, debe consultarse una zonificación adecuada de las industrias, suspendiendo toda nueva instalación en los sectores Sur, SE y SW de Santiago, y en la medida de las posibilidades trasladar algunas de las ya establecidas, especialmente aquellas que son fuentes de grandes cantidades de contaminantes a los sectores a sotavento de la ciudad. Se requiere para este fin, conocer la distribución espacial actual de las industrias y sus características. Por otro lado, tampoco deberá saturarse de industrias los sectores recomendados, puesto que existe la posibilidad que ocurran hechos climatológicos excepcionales que varían los parámetros meteorológicos. Igualmente debe considerarse dentro del plan urbanístico, un programa de intensiva forestación de avenidas y parques para aminorar la contaminación.

El plan de vigilancia de la calidad del aire en la ciudad, debería comprender:

- a.- Una ampliación de la actual red de muestreo y análisis del aire, que incluya observaciones de los sectores rurales periféricos, para conocer en qué medida, el aire más o menos limpio, está siendo afectado por las industrias y otras fuentes de contaminantes.
- b.- Ampliar los estudios de los aspectos meteorológicos de la contaminación en base a la instalación de estaciones especiales, que permitan conocer mejor los perfiles de viento y temperatura, influenciados por las edificaciones y la actividad urbana.
- c.- Examen de la eficacia de los actuales procedimientos de control, a objeto de mejorarlos si ellos no asegurasen la disminución de los contaminantes.
- d.- Emplazamiento adecuado de las nuevas estaciones de muestreo, de manera sea posible, conocer los niveles más elevados y medir el grado de exposición de la población.
- e.- Acelerar los métodos de control en casos de emergencia para prevenir consecuencias graves.
- f.- Previsión a corto y largo plazo de condiciones meteorológicas favorables a la contaminación del aire.

Las consideraciones y medidas anteriormente expuestas, deberán aplicarse igualmente a las demás ciudades que están sufriendo o van a sufrir los efectos de una contaminación progresiva del aire.

RECONOCIMIENTO.-

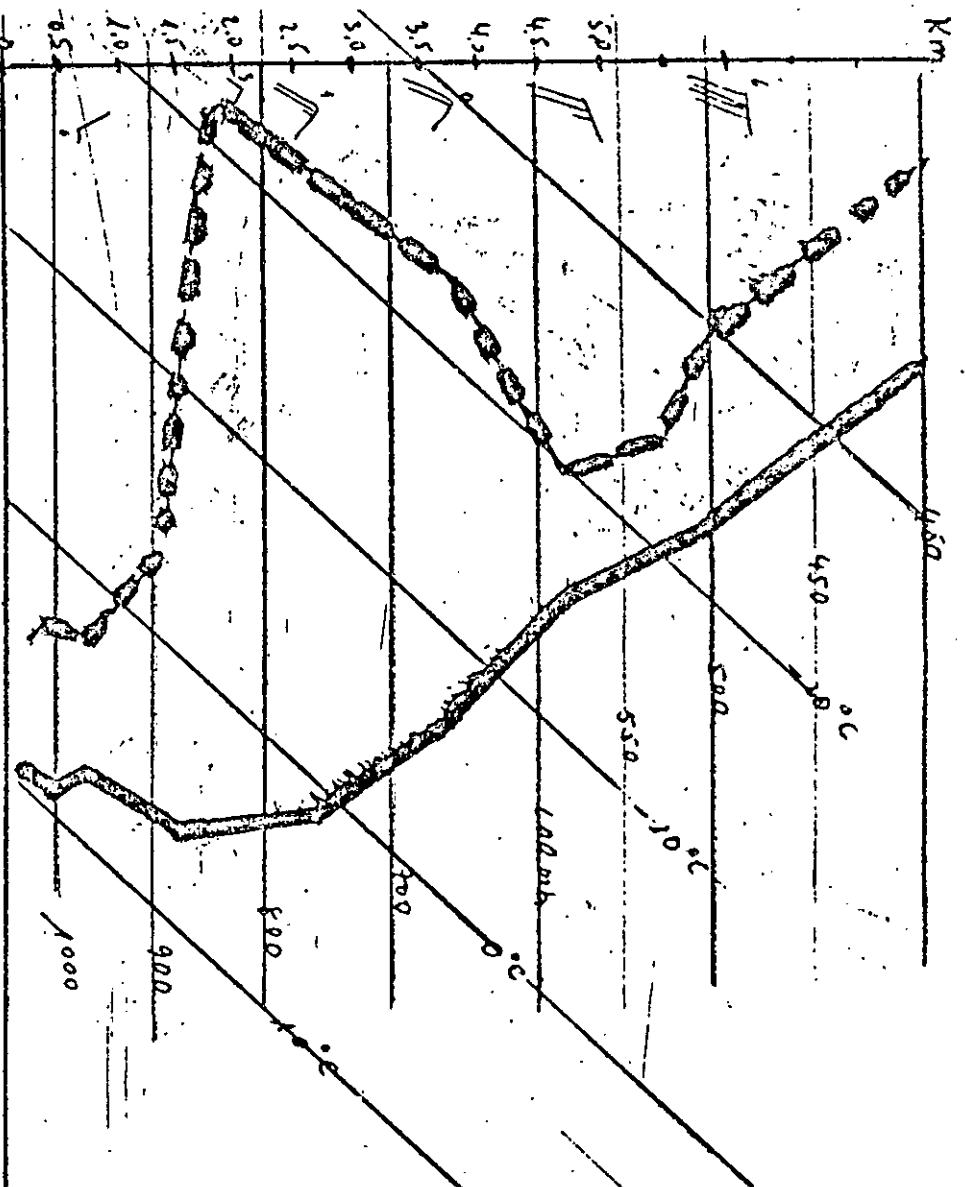
Expreso mis sinceros agradecimientos por la activa colaboración prestada en la preparación de este trabajo a los colegas Sres. Fernando Ramírez L, Hernán Pizarro C. y Rigoberto Rivas G.

////////////////////-

BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- OMM. Nº 312, 1971, Informe Especial Nº 2 "Sobre el Medio Ambiente Humano"
- 2.- OMM. Nº 299, WMO Operations Manual for Sampling and Analysis Techniques for Chemical Constituents in Air and Precipitation.
- 3.- OMM. Nº 106, Meteorological Aspects of Air Pollution, 1970.
- 4.- American Meteorological Society, "Compendium of Meteorology (1951).
- 5.- Dirección Meteorológica de Chile, cartas sinópticas, diagramas de sondeo aerológicos, Anuarios Meteorológicos.
- 6.- Departamento de Geofísica y Geodesia U. de Chile, "Factores Meteorológicos en la Contaminación Atmosférica de Santiago, 1973.
- 7.- Instituto de Higiene de trabajo y Contaminación Atmosférica, Servicio Nacional de Salud, "Estudios de Contaminación Atmosférica en Santiago, Chile, 1973.
- 8.- Artículo de NOAA WEEK, volume 5 Number 24, June 7, 1974, U.S. Department of Commerce.
- 9.- AMBIO, a journal of the Human Environment Research and Management Royal Swedisch Academy of Sciences, Volume III, Number 3-4, 1974.-

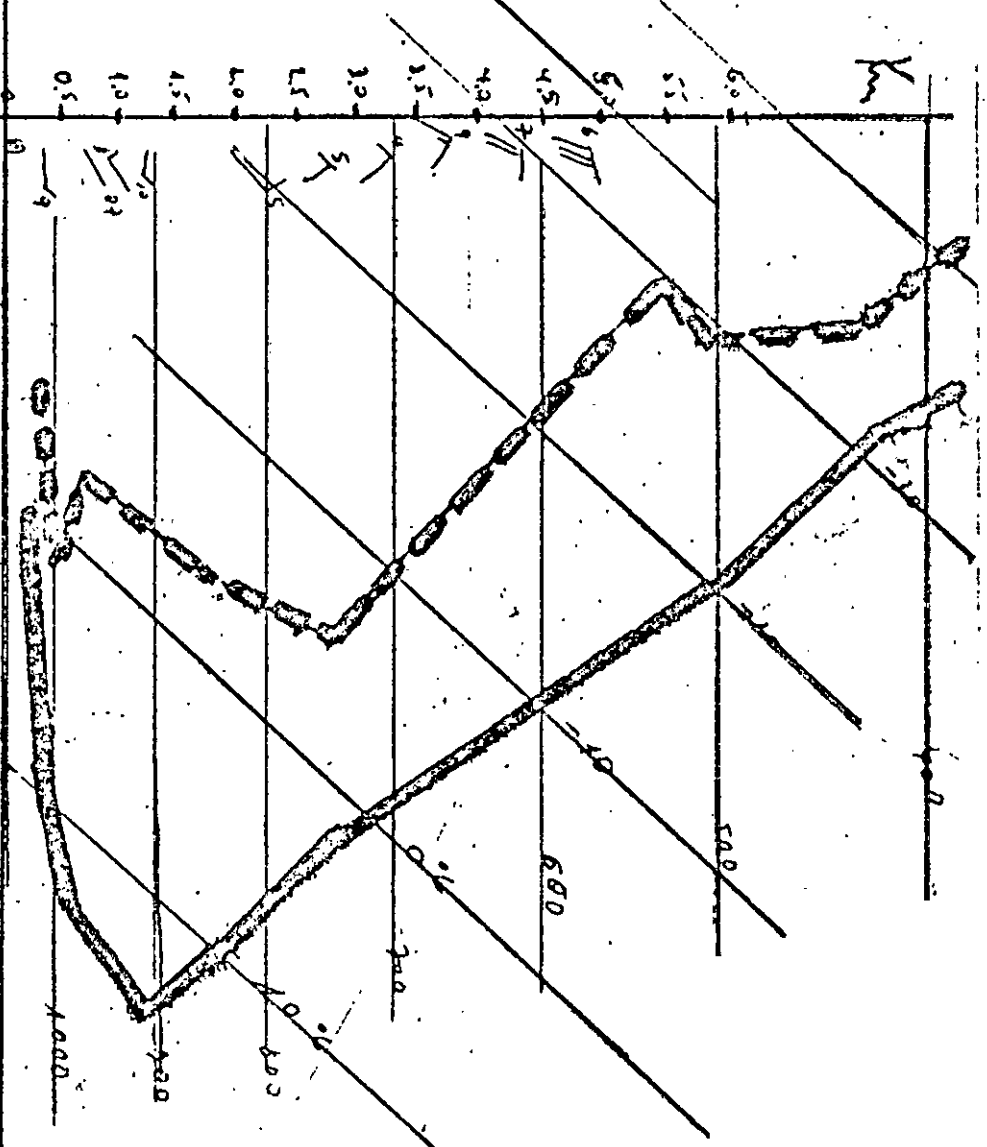
olc/mpylv.-



Radiosondeo Quintero 00 GMT (20 local)
24 Julio 1974

Tiempo en superficie 00 GMT

Calma; visibilidad 4 km, bruma,
4/8 cirrus cumulos, 2/8 cirrostratus,
temperatura 5,5 °C, Humedad rel. 86%,
temperatura máxima día 23: 10,7 °C a las
15:10 hrs.



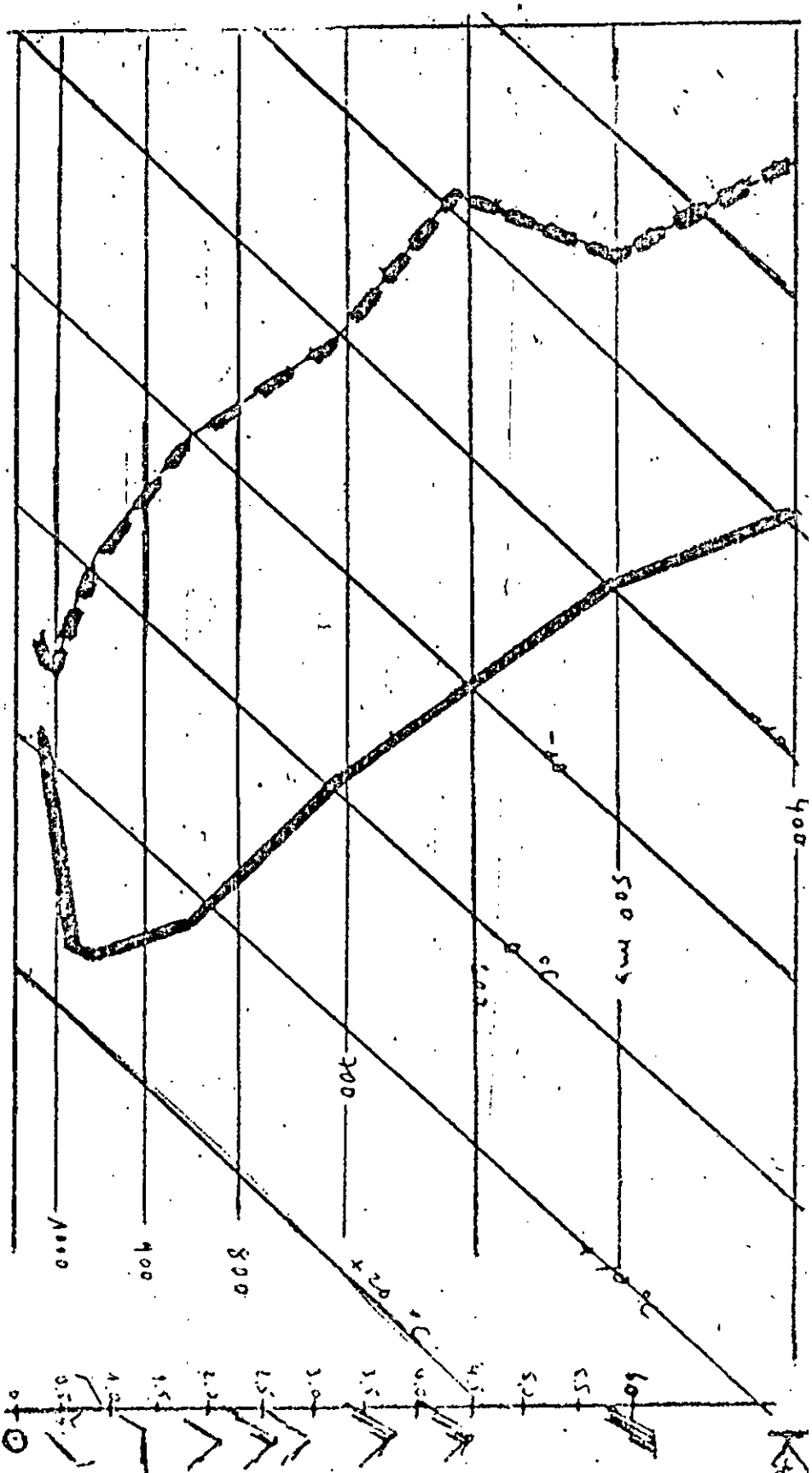
Radiosondeo Quintero 12 GMT
24 Julio 1974

Tiempo en superficie 12 GMT

SW 2 nudos, vis. 1 km, bruma
despejado, temp. 14,4 °C, humedad
rel. 57%.

Calma; visibilidad 600 m, Niebla,
1/8 cirrus 6000 m, temperatura -1,6
humedad rel. 98%, temperatura mínima
-1.7 °C a las 07:50 hrs.

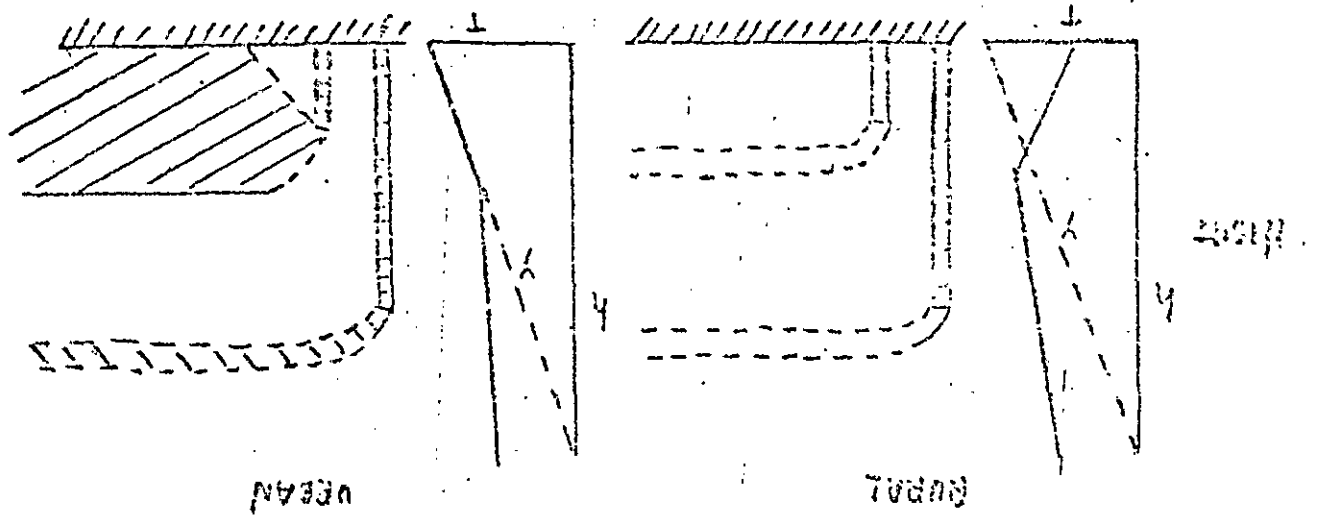
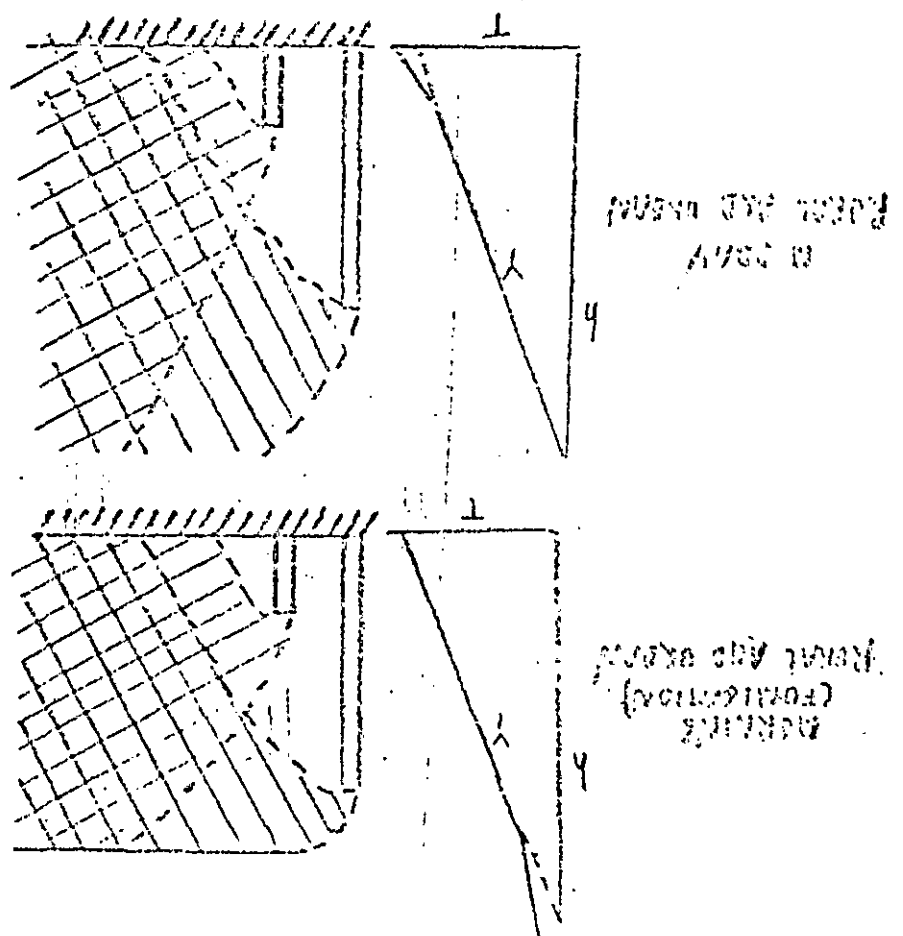
— Gradiente de temperatura (°C)
--- Gradiente de temperatura Pto. Acio (°C)

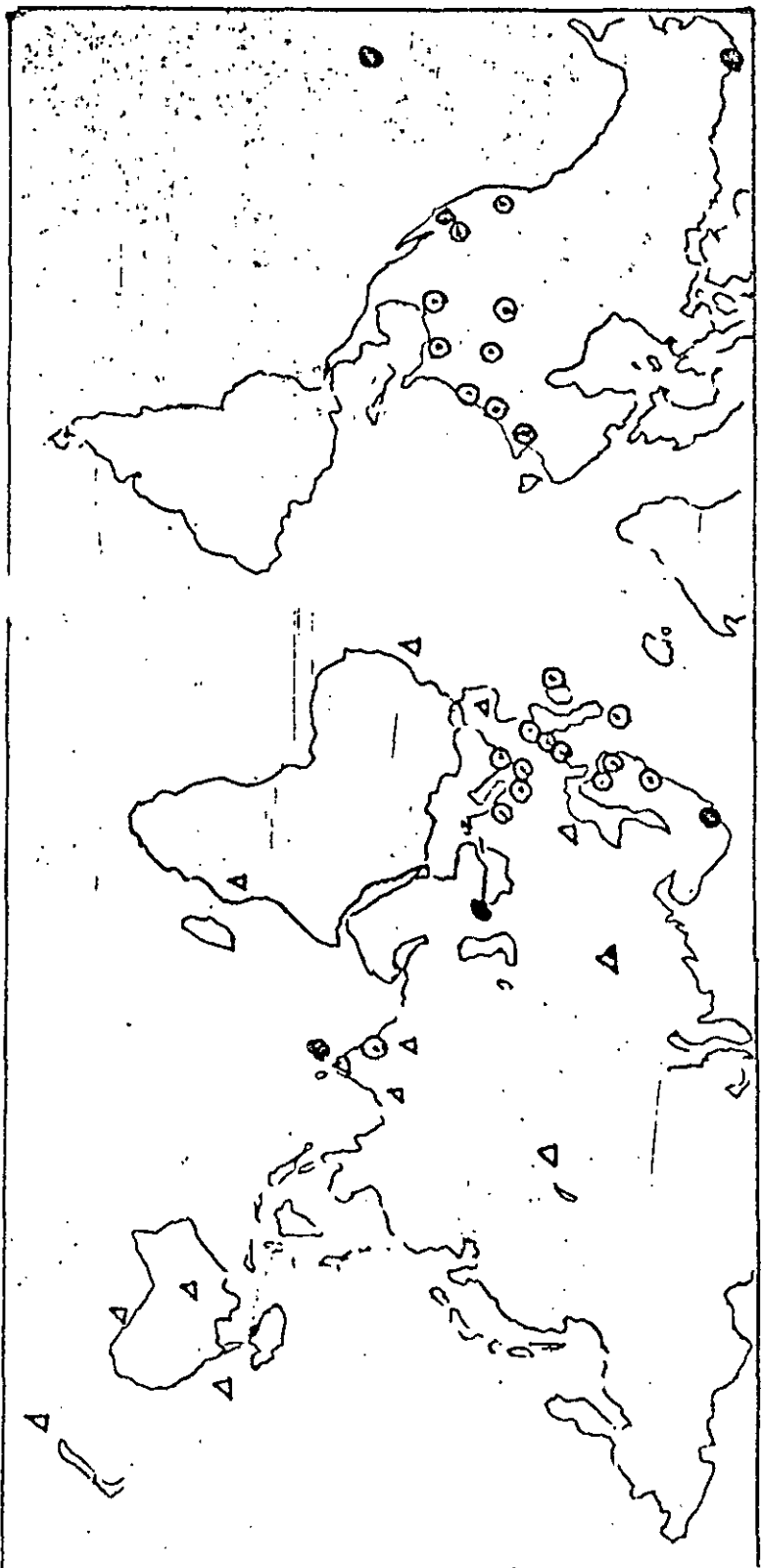


radiosondeo 00 GMT Quintero
25 Julio 1974

SW 02, visibilidad 3 km, bruma, despejado
temperatura 8,0 °C, humedad relativa 32 %
maxima dia 24° - 17,7 °C

— Gradiente de temperatura (°C)
--- Gradiente de temperatura pto roca (°C)

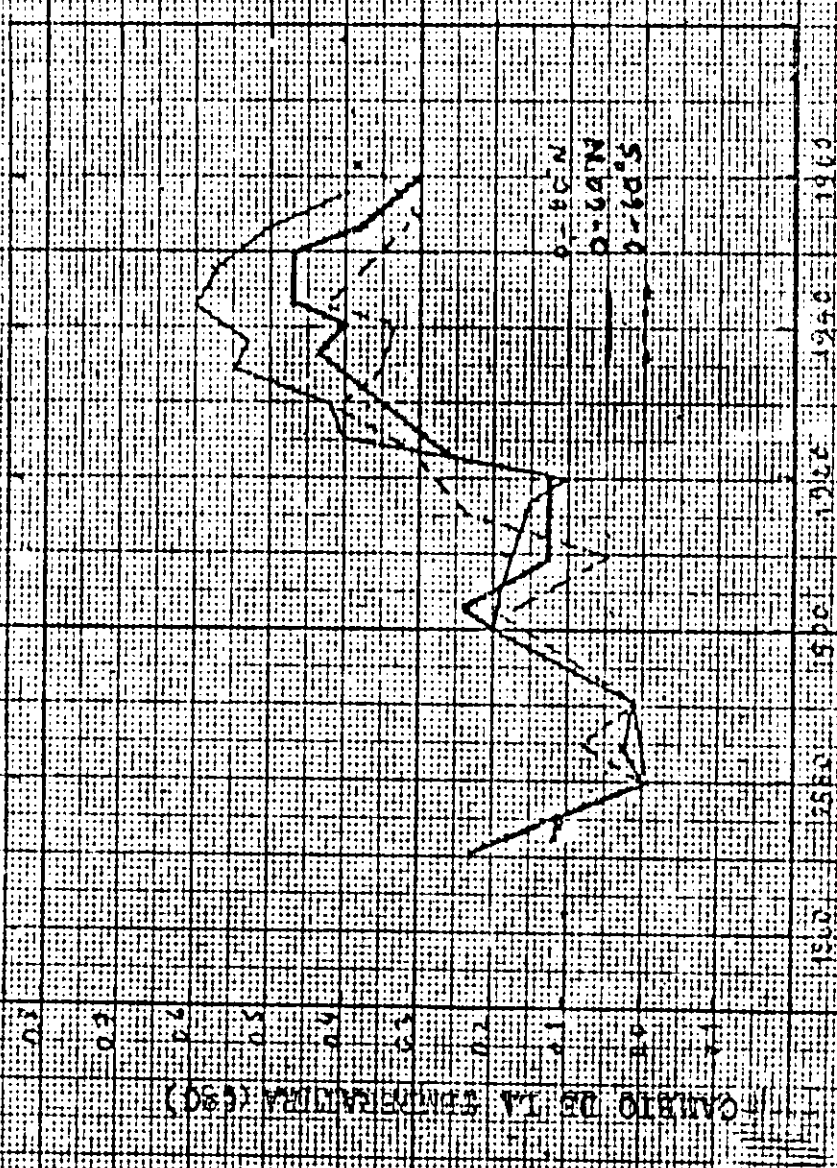




Red de la OMM de medida de la contaminación del aire



- Estacion que participa en la red regional de medida de la contaminación del aire
- △ Estacion regional de medida de la contaminación del aire, propuesta.
- Estacion b. sica de medida de la contaminación del aire, propuesta.



(0.80) ANNUAL MEAN TEMPERATURE CHANGE

TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL A DISTINTAS LATITUDES,
 DESDE 1870 a 1960, QUE SERIAN EL RESULTADO DE VARIACIONES EN LAS
 CONCENTRACIONES DE CO₂ Y AEROSOLLES.