

01177  
3  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

## EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO EN LA ZONA METROPO- LITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

T E S I S

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA AMBIENTAL

P R E S E N T A :

RODOLFO SOSA ECHEVERRIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INDICE

INDICE	i	
LISTA DE TABLAS	iii	
LISTA DE FIGURAS	iv	
I.	<u>INTRODUCCION</u>	1
II.	<u>ANTECEDENTES</u>	3
III.	<u>METODOLOGIA</u>	12
III.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	12
III.2.	ENTREVISTAS	12
III.3.	INSPECCION DEL SITIO	13
III.4.	MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	14
III.4.1.	METODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	14
III.4.1.1.	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	14
III.4.1.2.	COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES	15
III.4.1.3.	COMPUESTOS ORGANICOS SEMIVOLATILES	16
III.4.1.4.	GASES INORGANICOS	17
III.4.1.5.	FORMALDEHIDO	18
III.4.1.6.	PARTICULAS	19
III.4.1.7.	TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	19
III.4.2.	ESTRATEGIA DE MEDICION	22
III.5.	ANALISIS DE RESULTADOS	27
III.6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
IV.	<u>PARTE EXPERIMENTAL (CASO EJEMPLO)</u>	34
IV.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	34
IV.2.	ENTREVISTAS	34
IV.3.	INSPECCION DEL SITIO	36
IV.4.	MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	39
IV.4.1.	METODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	39

IV.4.1.1.	PARTICULAS INHALABLES	39
IV.4.1.2.	PARTICULAS COMO COEFICIENTE DE SUCIEDAD	39
IV.4.1.3.	FORMALDEHIDO	40
IV.4.1.4.	MONOXIDO DE CARBONO	40
IV.4.1.5.	OZONO	40
IV.4.1.6.	BIOXIDO DE CARBONO	41
IV.4.1.7.	TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	41
IV.4.2.	ESTRATEGIA DE MEDICION	42
IV.5.	ANALISIS DE RESULTADOS	53
IV.5.1	ANALISIS DE RESULTADOS FOR PISOS	53
IV.5.1.1.	PLANTA BAJA	53
IV.5.1.2.	PRIMER PISO	54
IV.5.1.3.	SEGUNDO PISO	55
IV.5.1.4.	TERCER PISO	55
IV.5.1.5.	CUARTO PISO	56
IV.5.1.6.	QUINTO PISO	56
IV.5.1.7.	SEXTO PISO	57
IV.5.1.8.	AZOTEA	58
IV.5.2.	ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS	59
IV.5.3	ANALISIS ESTADISTICO	68
V.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	93
V.1	CONCLUSIONES	93
V.2	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFIA	97
APENDICE A	GRAFICAS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA LA CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO	101

## LISTA DE TABLAS

- I. Clasificación de contaminantes atmosféricos en interiores por sus fuentes (tanto en el interior como en el exterior).
- II. Localización adecuada de sitios de control en el monitoreo de la calidad del aire en interiores.
- III. Localización adecuada de sitios de muestreo y tiempos ideales de medición en el monitoreo de la calidad del aire en interiores.
- IV. Evaluación de datos de monitoreo de la calidad del aire en interiores.
- V. Normas de calidad del aire de los Estados Unidos de América.
- VI. Normas Mexicanas de Calidad del Aire.
- VII. Resultados obtenidos de las entrevistas a los ocupantes del edificio.
- VIII. Mediciones realizadas en el interior del edificio.
- IX. Niveles de monóxido de carbono en todos los sitios de muestreo.
- X. Niveles de partículas inhalables en todos los sitios de muestreo.
- XI. Niveles de ozono en todos los sitios de muestreo.
- XII. Niveles de formaldehído en todos los sitios de muestreo.
- XIII. Datos de concentraciones promedio de 8 horas de monóxido de carbono (ppm) por sitios de muestreo y días de la semana.
- XIV. Datos promedio de 8 horas del coeficiente de suciedad (CHOs) por sitios de muestreo y días de la semana.
- XV. Datos de concentraciones promedio de 8 horas de partículas inhalables ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por sitios de muestreo y días de la semana.
- XVI. Datos de concentraciones máximas horarias de ozono (ppb) por sitios de muestreo y días de la semana.
- XVII. Datos de concentraciones promedio de 8 horas de formaldehído (ppb) por sitios de muestreo y días de la semana.
- XVIII. Resultados del análisis de variancia para los distintos contaminantes.
- XIX. Resultados de los contrastes para monóxido de carbono y coeficiente de suciedad.

## LISTA DE FIGURAS

1. Lista de contaminantes en el interior de una casa habitación.
2. Principales contaminantes en el interior de un edificio de oficinas.
3. Carta de confort de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE).
4. Edificio en el cual se realizó la evaluación de la calidad del aire.
5. Esquema general del montaje de los equipos.
6. Localización de los sitios de muestreo en la Planta Baja.
7. Localización de los sitios de muestreo en el Primer Piso.
8. Localización de los sitios de muestreo en el Segundo Piso.
9. Localización de los sitios de muestreo en el Tercer Piso.
10. Localización de los sitios de muestreo en el Cuarto Piso.
11. Localización de los sitios de muestreo en el Quinto Piso.
12. Localización de los sitios de muestreo en el Sexto Piso.
13. Comportamiento del monóxido de carbono durante el día.
14. Comportamiento de las partículas como coeficiente de suciedad durante el día.
15. Concentraciones instantáneas de CO<sub>2</sub> determinado a la hora en que se presenta la máxima concentración de monóxido de carbono y de suciedad atmosférica (9-10 a.m.).
16. Concentraciones de monóxido de carbono ordenadas secuencialmente conforme al tiempo.
17. Niveles del coeficiente de suciedad ordenados secuencialmente conforme al tiempo.
18. Concentraciones de partículas inhalables ordenadas secuencialmente conforme al tiempo.
19. Concentraciones de ozono ordenadas secuencialmente conforme al tiempo.
20. Concentraciones de formaldehído ordenadas secuencialmente conforme al tiempo.
21. Histograma de frecuencias para las concentraciones de monóxido de carbono.

22. Histograma de frecuencias para los valores del coeficiente de suciedad.
23. Histograma de frecuencias para las concentraciones de partículas inhalables.
24. Histograma de frecuencias para las concentraciones de ozono.
25. Histograma de frecuencias para las concentraciones de formaldehído.
26. Porciento acumulado para las concentraciones de monóxido de carbono.
27. Porciento acumulado para los niveles del coeficiente de suciedad.
28. Porciento acumulado para las concentraciones de partículas inhalables.
29. Porciento acumulado para las concentraciones de ozono.
30. Porciento acumulado para las concentraciones de formaldehído.
- A-1 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la Planta Baja (sitio A).
- A-2 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la Planta Baja (sitio B).
- A-3 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en la Planta Baja (sitio A).
- A-4 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en la Planta Baja (sitio B).
- A-5 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en la Planta Baja (sitio A).
- A-6 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en la Planta Baja (sitio B).
- A-7 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en la Planta Baja (sitio A).
- A-8 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en la Planta Baja (sitio B).
- A-9 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Planta Baja (sitio A).
- A-10 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Planta Baja (sitio B).
- A-11 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en la Planta Baja (sitio A).



- A-12 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en la Planta Baja (sitio B).
- A-13 Temperatura ambiente en la Planta Baja (sitio A).
- A-14 Temperatura ambiente en la Planta Baja (sitio B).
- A-15 Humedad relativa en la Planta Baja (sitio A)
- A-16 Humedad relativa en la Planta Baja (sitio B).
- A-17 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Primer Piso (sitio A).
- A-18 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Primer Piso (sitio B).
- A-19 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Primer Piso (sitio A).
- A-20 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Primer Piso (sitio B):
- A-21 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Primer Piso (sitio A).
- A-22 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Primer Piso (sitio B).
- A-23 Concentraciones de partículas inhalables en 8 horas en el Primer Piso (sitio A).
- A-24 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Primer Piso (sitio B).
- A-25 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Primer Piso (sitio A).
- A-26 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Primer Piso (sitio B).
- A-27 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Primer Piso (sitio A).
- A-28 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Primer Piso (sitio B).
- A-29 Temperatura ambiente en el Primer Piso (sitio A).
- A-30 Temperatura ambiente en el Primer Piso (sitio B).
- A-31 Humedad relativa en el Primer Piso (sitio A).
- A-32 Humedad relativa en el Primer Piso (sitio B).
- A-33 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Segundo Piso.

- A-34 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Segundo Piso.
- A-35 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Segundo Piso.
- A-36 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Segundo Piso.
- A-37 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Segundo Piso.
- A-38 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Segundo Piso.
- A-39 Temperatura ambiente en el Segundo Piso.
- A-40 Humedad relativa en el Segundo Piso.
- A-41 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Tercer Piso.
- A-42 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Tercer Piso.
- A-43 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Tercer Piso.
- A-44 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Tercer Piso.
- A-45 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Tercer Piso.
- A-46 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Tercer Piso.
- A-47 Temperatura ambiente en el Tercer Piso.
- A-48 Humedad relativa en el Tercer Piso.
- A-49 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Cuarto Piso.
- A-50 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Cuarto Piso.
- A-51 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Cuarto Piso.
- A-52 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Cuarto Piso.
- A-53 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Cuarto Piso.
- A-54 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Cuarto Piso.

- A-55 Temperatura ambiente en el Cuarto Piso.
- A-56 Humedad relativa en el Cuarto Piso.
- A-57 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Quinto Piso.
- A-58 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Quinto Piso.
- A-59 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Quinto Piso.
- A-60 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Quinto Piso.
- A-61 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Quinto Piso.
- A-62 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Quinto Piso.
- A-63 Temperatura ambiente en el Quinto Piso.
- A-64 Humedad relativa en el Quinto Piso.
- A-65 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Sexto Piso (sitio A).
- A-66 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Sexto Piso (sitio B).
- A-67 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Sexto Piso (sitio A).
- A-68 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Sexto Piso (sitio B).
- A-69 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Sexto Piso (sitio A).
- A-70 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Sexto Piso (sitio B).
- A-71 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Sexto Piso (sitio A).
- A-72 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Sexto Piso (sitio B).
- A-73 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Sexto Piso (sitio A).
- A-74 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Sexto Piso (sitio B).

- A-75 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Sexto Piso (sitio A).
- A-76 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Sexto Piso (sitio B).
- A-77 Temperatura ambiente en el Sexto Piso (sitio A).
- A-78 Temperatura ambiente en el Sexto Piso (sitio B).
- A-79 Humedad relativa en el Sexto Piso (sitio A).
- A-80 Humedad relativa en el Sexto Piso (sitio B).
- A-81 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la Azotea.
- A-82 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en la Azotea.
- A-83 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en la Azotea.
- A-84 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en la Azotea.
- A-85 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Azotea.
- A-86 Concentraciones de formaldehído en 8 horas en la Azotea.
- A-87 Temperatura ambiente en la Azotea.
- A-88 Humedad relativa en la Azotea.

## I. INTRODUCCION

La importancia de un estudio sobre la evaluación de la calidad del aire en interiores se basa principalmente en que las personas pasan la mayor parte del tiempo en este tipo de ambientes, como pueden ser: la casa, la oficina, el salón de clases, etc., y en varias ocasiones se pueden encontrar en estos sitios niveles de contaminación muy por arriba de los que se tienen normalmente en el exterior. Sin embargo existen varios aspectos concernientes a la contaminación atmosférica en interiores que aún a nivel internacional están en proceso de desarrollo, como es el caso de normas de calidad del aire específicas para interiores y el equipo de monitoreo, entre otros aspectos.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Z.M.C.M.) es necesario realizar investigaciones tendientes a evaluar no solamente la calidad del aire exterior que, con base en la información existente, constituye un problema grave; sino además respecto a la calidad del aire interior que en este momento se conoce muy poco y que como ya se señaló, puede representar un problema todavía mayor.

Por lo anterior el presente estudio tiene como objetivo describir la metodología para la evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores, en base a la revisión de diversos estudios a nivel internacional sobre el tema, así como aplicarla en la evaluación de la calidad del aire en el interior de un edificio de oficinas localizado en la Z.M.C.M., lo cual constituye una de las primeras investigaciones sobre el tema en nuestro país.

Se realizaron las mediciones de los niveles de varios contaminantes con el propósito de: compararlos con normas de calidad del aire y/o niveles recomendados por organismos nacionales y extranjeros en este campo; obtener su variación semanal, por haberse realizado los monitoreos durante los distintos días de la semana; obtener su variación durante el día para el caso de los contaminantes medidos de manera continua; así como determinar las diferentes causas de los niveles de contaminación atmosférica encontrados durante el muestreo. En todos los casos se utilizaron metodologías reconocidas por organismos internacionales para la evaluación de la calidad del aire.

Los contaminantes estudiados fueron: partículas, monóxido de carbono, formaldehído y ozono, y su selección se hizo con base en la presencia de sus fuentes interiores de contaminación así como a su posible infiltración del exterior. Con el fin de obtener un conocimiento adecuado sobre su variación espacial y temporal se realizaron mediciones en todos los pisos del edificio además de llevarse a cabo las mediciones en cada sitio durante una semana. Complementando la información generada por el monitoreo de contaminantes, se realizaron adicionalmente mediciones de humedad relativa y temperatura para determinar el índice de confort en cada una de los sitios estudiados. Como apoyo a las mediciones señaladas también se realizaron algunas determinaciones de bióxido de carbono.

El equipo utilizado así como el apoyo técnico en la realización de los muestreos y análisis estuvo a cargo de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, institución en la cual se está llevando a cabo, desde 1988, el primer proyecto de investigación sobre el tema en nuestro país, denominado "Evaluación de la Calidad del Aire en Ambientes Interiores", y del cual forma parte este estudio.

## II. ANTECEDENTES

La evaluación de la calidad del aire en interiores se refiere al estudio de los niveles de contaminantes en lugares como oficinas, casas habitación, centros comerciales, vehículos, etc., aunque la exposición ocupacional también se puede referir a contaminación en interiores, cabe hacer la diferencia entre este tipo de contaminación presente en industrias, fábricas, centros de almacenamiento, talleres, etc., con la contaminación en los sitios descritos primeramente que son en los que comunmente se encuentra expuesta la población.

El tiempo de permanencia en ambientes interiores como la oficina, la casa, etc., se estima entre el 70 y el 95 porciento, lo cual le da una mayor importancia al estudio de la calidad del aire en interiores (Hall y Lavite 1988; Meijer et al 1989). Además de poder estar presentes varios contaminantes en concentraciones muy por arriba de las encontradas en el exterior (Nero 1989).

El problema de la calidad del aire en interiores se empezó a manifestar a principios de los años 70s cuando la nueva filosofía de diseño de edificios se basó fundamentalmente en el ahorro de energía debido al incremento en el precio del petróleo. Esto ocasionó el diseño de edificios cerrados con sistemas de aire acondicionado con un mínimo intercambio con el exterior con el fin de optimizar su operación y por consiguiente ahorrar energía en el uso de estos sistemas (Rafferty y Weston 1989). Esta filosofía de diseño se mantiene hasta nuestros días y se estima que en los Estados Unidos el potencial de energía ahorrado por este concepto esta entre 50 y 100 billones de dólares al año (Rosenfeld y Hafemeister 1988).

Lo anterior ha dado lugar en gran medida al denominado síndrome del edificio enfermo (sick building syndrom) (Wallace 1988), el cual se manifiesta por producir en los ocupantes de un edificio diferentes síntomas tales como: irritación de los ojos, nariz y garganta; sensación de resequedad de las membranas mucosas y piel; dolor de cabeza; alta incidencia y frecuencia de problemas respiratorios, náuseas y mareos. Típicamente se tiene una alta tasa de padecimientos ya que más del 20 porciento de los ocupantes de un edificio presentan síntomas, los cuales desaparecen cuando los ocupantes salen del edificio pero reaparecen cuando estos retornan (Hall y Lavite 1988).

En los últimos 10 años el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de los Estados Unidos, ha examinado cerca de 450 edificios comerciales en cuanto a calidad del aire en interiores y se encontró que el síndrome del edificio enfermo puede deberse a diferentes factores como: contaminantes originados por materiales de construcción en un 3%, contaminantes microbiológicos en un 5%, contaminantes procedentes del exterior en un 11%, contaminantes generados en el interior del edificio en un 17% y problemas por una ventilación inadecuada en un 52%. El 12% faltante representa aquellos casos en que el problema no fue identificado (Gorman y Wallingford 1989).

La calidad del aire en interiores esta influenciada tanto por la calidad del aire exterior como por las emisiones características de las fuentes interiores (MNHW 1987). En la mayoría de este tipo de espacios, existe un intercambio continuo de aire con el exterior, por

lo cual es posible que todos los contaminantes presentes en el exterior se presenten también en el interior. Entre los contaminantes más importantes en esta categoría se tienen: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas, ozono y plomo. Estos contaminantes son generados principalmente por vehículos, industrias y procesos de combustión, generalmente en ausencia de fuentes interiores de estos contaminantes, sus concentraciones en el interior serán cercanas o menores a aquellas encontradas en el exterior.

En cuanto a la generación de contaminantes en el interior estos pueden ser clasificados en tres categorías:

1. aquellos contaminantes formados en procesos de combustión como calentamiento y cocinado;
2. aquellos contaminantes derivados de materiales de construcción y muebles; y
3. aquellos contaminantes relacionados con la actividad humana o su presencia.

Las concentraciones de contaminantes dentro de las categorías 1 y 2 tienden a variar con el tiempo, mientras que los contaminantes dentro de la categoría 3 tienden a presentar concentraciones más constantes asumiendo que los cambios de aire también permanecen constantes.

#### PROCESOS DE COMBUSTION:

Los calentadores, estufas y otros equipos de combustión pueden ser fuentes apreciables de contaminantes en ambientes interiores, principalmente de monóxido de carbono, especialmente si estos equipos no tienen un sistema de ventilación adecuada o no se les da servicio rutinariamente. En casas habitación en los Estados Unidos las mayores fuentes de combustión son los equipos de combustión de gas, ya que por lo general en las casas, las emisiones de estufas, hornos y pilotos de encendido, no se ventilan al exterior y pueden contribuir a los niveles interiores de óxidos de nitrógeno y formaldehído además del monóxido de carbono ya mencionado (Wadden y Scheff 1987). La combustión en estufas de leña es mucho menos completa en comparación con las de petróleo o gas, sus emisiones de contaminantes son por lo tanto mayores, aún existiendo ventilación al exterior, algunas fugas y una operación inadecuada puede ocasionar emisiones al interior. Los contaminantes asociados con la utilización de estufas de leña y chimeneas incluyen: partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, aldehídos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (MNHW 1987, Core et al 1984).

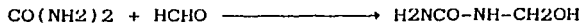
Los calentadores de kerosina son empleados para calefacción, y frecuentemente no tienen ventilación al exterior, por lo cual existen altos niveles potenciales de contaminantes. En particular el uso de kerosina con alto contenido de azufre o un mal diseño del equipo puede resultar en emisiones de óxidos de azufre así como de los otros contaminantes obtenidos como subproductos de la combustión previamente mencionados (MNHW 1987).



## MATERIALES DE CONSTRUCCION Y MUEBLES:

Varios tipos de materiales de construcción se han identificado como fuentes de materiales peligrosos (Wadden y Scheff 1987). El radón 222 como elemento radiactivo representa un grave problema de salud por ocasionar cáncer, principalmente del pulmón (Crawford 1988). El radio 226 es la fuente de las emisiones gaseosas de radón 222. El radio se encuentra en pequeñas cantidades contenido en la corteza terrestre por lo cual es muy posible que en un edificio o en una casa se encuentre en el material de construcción y por lo tanto tenga el radón 222 un impacto negativo en la calidad del aire de estos sitios. Adicionalmente a los materiales de construcción como productos de roca, arena y arcilla, entre otros, también existen otras fuentes de este elemento como son aún el suelo aledaño e independiente a la construcción y en algunos casos hasta el agua de consumo cuando esta proviene de estratos de roca que pudieran contener elementos radiactivos (Bruno 1983). Se han detectado en los Estados Unidos distintos sitios en donde los niveles de radón son elevados (Alter y Oswald 1987). Los materiales de construcción han manifestado ser una fuente muy importante de radón sobre todo en edificios cerrados, esto es diseñados herméticamente. Cabe recordar que este tipo de edificios son diseñados con el propósito de ahorrar energía y que se mantiene a la fecha este criterio. La liberación de radón desde los materiales de construcción esta influida por el contenido de humedad del material, su densidad, la presencia de selladores, la naturaleza del material y la naturaleza de las sustancias con las que se encuentre mezclado.

El formaldehído es probablemente el contaminante interior más conocido. Sus fuentes principales son materiales conglomerados a base de espuma o resina urea-formaldehído tales como: paneles, plafones, alfombras y muebles, los cuales están presentes prácticamente en todas las oficinas y casas (Meyer y Hermanns 1985). La espuma urea-formaldehído se produce cuando estos dos principales constituyentes se combinan con un catalizador y se hacen pasar por una tobera presurizada. El producto se cura a fin de producir una resina endurecida. La reacción química que se tiene es la siguiente:



El grado con que el formaldehído pueda ser emitido de la espuma urea-formaldehído está directamente relacionado con la composición de la resina precursora, que es una función de las condiciones de fabricación, y con el alcance de la reacción de descomposición en la espuma producida que depende de la acidez de esta. También se conoce que las emisiones disminuyen exponencialmente con el tiempo y con el incremento en los cambios de aire, aumentando al elevarse la temperatura (Wadden y Scheff 1987 y Meyer y Hermanns 1984).

Otras sustancias peligrosas que provienen de materiales de construcción son las fibras de asbesto, cuya contaminación en el interior de una casa o edificio ocurre por los procesos de precipitación, impacto (que es propiamente el contacto), y rearrastre. La tasa de liberación de las fibras de asbesto en la precipitación es generalmente continua, de bajo nivel y persistente. La precipitación puede ocurrir sin rompimiento del material que contiene las fibras y es función de la degradación del material adhesivo. La tasa puede variar debido a la vibración estructural, cambios de humedad y movimientos. Se pueden liberar fibras de asbesto en exceso mediante el

proceso de rearrastre durante el mantenimiento o limpieza de rutina (Wadden y Scheff 1987).

#### ACTIVIDAD HUMANA:

La variedad de contaminantes que resultan como producto de la actividad humana es extremadamente amplia. El tabaquismo constituye una fuente muy importante de contaminación atmosférica interior y sus emisiones contienen gran cantidad de substancias peligrosas. Aunque el fumador inhala la corriente principal del humo de tabaco, las emisiones de las corrientes laterales van a afectar a las personas que se encuentren cerca o en la misma habitación, denominadas fumadores pasivos. Estas corrientes laterales se presentan cuando el cigarro es consumido sin inhalarse y por lo tanto están constituidas por el humo sin filtrar. El número de contaminantes contenidos en el humo del cigarro es bastante alto y se clasifican en dos grupos que son los contaminantes que se encuentran en la fase sólida particulada y los que se encuentran como gases y vapores. En la fase de partículas tenemos: alquitrán, nicotina, fenoles, pireno, benzo-alfa-pireno, naftaleno, metilnaftaleno, anilina, nitrosornicotina (NNN), 4-(N-Metil-N-nitrosamina)-1-(3-Piridil)-1-Butanona (NNK), cadmio, níquel, arsénico, 2-Naftilamina, ácido cianhídrico, y polonio 210. Entre gases y vapores tenemos: monóxido y bióxido de carbono, acetaldehído, ácido cianhídrico, cloruro de metilo, acetona, amoniaco, piridina, acroleina, óxido nítrico, bióxido de nitrógeno, formaldehído, dimetilnitrosamina (DMN) y nitrosopirrolidina (NPY) (Wadden y Scheff 1987).

El metabolismo humano también representa una actividad que influye sobre la calidad del aire reduciendo la concentración de oxígeno e incrementando el nivel de bióxido de carbono. La respiración así como la preparación de alimentos en el interior, adicionan a la atmósfera vapor de agua y varias substancias olorosas.

Una gran variedad de agentes biológicos pueden estar presentes en la casa, por ejemplo, microorganismos provenientes de las personas ocupantes, animales domésticos e insectos. El crecimiento microbiano puede ocurrir sobre las superficies húmedas o en el agua estancada. Pollen, esporas e insectos están presentes en el polvo originado tanto en el exterior como en el interior (MNHW 1987).

Otras fuentes las constituyen ciertos artículos de consumo tales como: pinturas, desodorantes, plásticos, pesticidas, limpiadores etc., que pueden aportar paraclorobenceno, cloruro de metileno, cloroformo, estireno, diisocianato de tolueno, anhídrido ftálico, trietilen tetraamina, dodecil sulfonato de sodio, bencil cloruro, benzal cloruro, y óxido de etileno entre otros (Tichenor y Mason 1988).

Se ha encontrado que las máquinas fotocopadoras son fuentes interiores generadoras de ozono (Hansen y Andersen 1986). Paradojicamente también se han identificado como fuentes generadoras de ozono, a los equipos limpiadores de aire que operan por el principio electrostático para el control de partículas.

Algunos contaminantes mencionados anteriormente tanto por fuentes de combustión, materiales de construcción y muebles, actividades humanas y otras fuentes, son presentados graficamente para una casa habitación en la Figura 1 y para un edificio con sistema de aire acondicionado en la Figura 2.

En la Tabla I (Yocom 1982) se presentan los diferentes contaminantes presentes en interiores dentro de una clasificación general en tres grupos:

- |            |   |
|------------|---|
| Grupo I:   | Contaminantes cuyas fuentes son predominantemente del exterior.                     |
| Grupo II:  | Contaminantes cuyas fuentes se encuentran tanto en el interior como en el exterior. |
| Grupo III: | Contaminantes cuyas fuentes son predominantemente del interior.                     |

COV: Compuestos orgánicos volátiles

PR: Partículas respirables

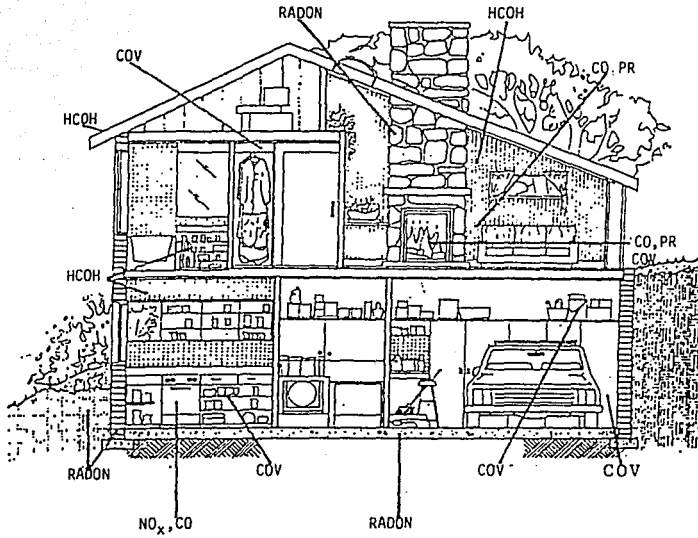


Figura 1.- Principales contaminantes en el interior de una casa habitación.

COV: Compuestos orgánicos volátiles

PR: Partículas respirables

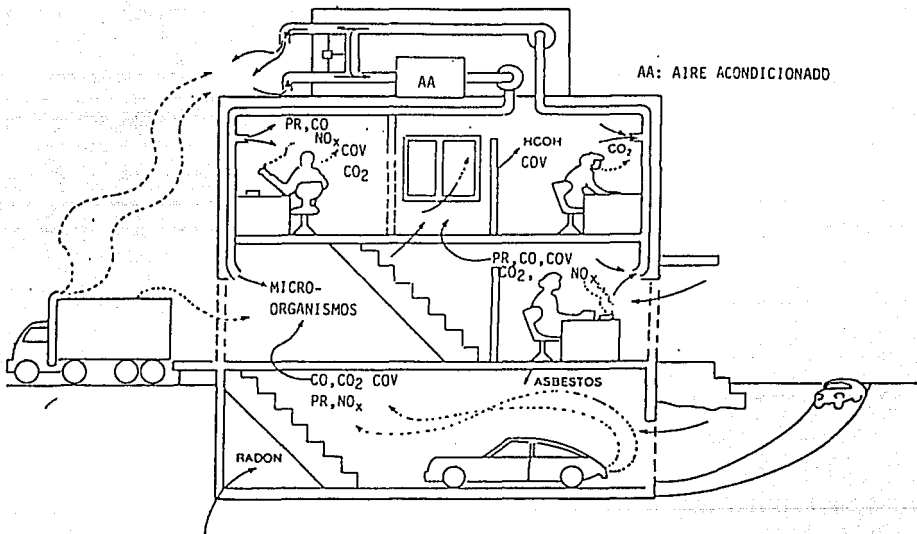


Figura 2.- Principales contaminantes en el interior de un edificio de oficinas.

TABLA I.-CLASIFICACION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS  
EN INTERIORES POR SUS FUENTES (TANTO EN EL  
INTERIOR COMO EN EL EXTERIOR).

CONTAMINANTES	FUENTES
GRUPO I: FUENTES PREDOMINANTEMENTE DEL EXTERIOR:	
OXIDOS DE AZUFRE (GASES, PARTICULAS).	COMBUSTION Y FUNDICIONES NO FERROSAS
OZONO	REACCIONES FOTOQUIMICAS
POLLEN	ARBOLES, PASTO, PLANTAS
PLOMO, MANGANESO	AUTOMOVILES
CALCIO, CLORO SILICE, CADMIO	SUSPENSION DE SUELOS Y EMISIONES INDUSTRIALES
COMPUESTOS ORGANICOS	SOLVENTES PETROQUIMICOS, EVAPORACION DE COMBUSTIBLES Y FUENTES NATURALES.
GRUPO II: FUENTES TANTO EXTERIORES COMO INTERIORES:	
OXIDO NITRICO	COMBUSTION
BIOXIDO DE NITROGENO	REACCION DEL OXIDO NITRICO
MONOXIDO DE CARBONO	COMBUSTION
BIOXIDO DE CARBONO	ACTIVIDAD METABOLICA Y COMBUSTION
PARTICULAS	RESUSPENSION, CONDENSACION DE VAPORES Y COMBUSTION
VAPOR DE AGUA	ACTIVIDAD BIOLOGICA, COMBUS- TION Y EVAPORACION
COMPUESTOS ORGANICOS	VOLATILIZACION, COMBUSTION, ACTIVIDAD METABOLICA Y PESTICIDAS
ESPORAS	HONGOS Y MOHOS

TABLA I CONTINUACION

## CONTAMINANTES

## FUENTES

## GRUPO III: FUENTES PREDOMINANTEMENTE DEL INTERIOR:

RADON	MATERIALES DE CONSTRUCCION. AGUA Y SUELO ALEDANO
FORMALDEHIDO	MATERIAL CONGLOMERADO. PANELES. MUEBLES, HUMO DE TABACO ESTUFAS DE GAS
ASBESTOS, FIBRAS MINERALES Y SINTETICAS	AISLAMIENTO ACUSTICO. TERMICO Y ELECTRICO. PROTECCION CONTRA INCENDIO
COMPUESTOS ORGANICOS	ADHESIVOS. SOLVENTES. COCINAR. COSMETICOS
AMONIACO	ACTIVIDAD METABOLICA PRODUCTOS DE LIMPIEZA
HIDROCARBUROS POLICICLICOS ARSENICO, NICOTINA, ACROLEINA, ETC.	HUMO DE TABACO
MERCURIO	FUNGICIDAS, PINTURAS, DERRAMES EN CONSULTORIOS DEN- TALES, LABORATORIOS ROTURA DE TERMOMETROS
AEROSOLES	PRODUCTOS DE CONSUMO
MICROORGANISMOS	INFECCIONES
ALERGENOS	ANIMALES DOMESTICOS POLVO

### III. METODOLOGIA

La evaluación de la calidad del aire en interiores representa un gran reto ya que a diferencia de los ambientes industriales donde el problema esta identificado con las substancias manejadas, en ambientes interiores como la casa u oficina pueden existir varios factores a la vez que afecten negativamente a sus ocupantes. Entre estos factores además de los diferentes contaminantes que se puedan presentar en dichos sitios, también se deben de considerar condiciones ambientales como humedad relativa y temperatura.

No existe una metodología estricta para llevar a cabo estudios de calidad del aire en interiores, no obstante si existen procedimientos elaborados por diferentes organismos y expertos reconocidos en el tema (Rafferty y Weston 1989, Meijer et al 1989, Gorman y Wallingford 1989, Obermaier et al 1989, Allard 1989, Woods et al 1989, Goyer y Nguyen 1989). Los lineamientos generales coinciden y se pueden enlistar en las siguientes etapas:

1. Antecedentes del estudio.
2. Entrevistas.
3. Inspección del sitio.
4. Monitoreo de la calidad del aire.
5. Análisis de resultados.
6. Conclusiones y recomendaciones.

Aunque se enumeraron las etapas de la forma presentada previamente, se pueden tener ciertas modificaciones, por ejemplo: considerar las primeras tres etapas en una sola como apoyo a la planeación del estudio de calidad del aire.

#### III.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En esta etapa de antecedentes se obtendrá la información inicial para la realización del estudio: interés de la investigación ya sea por parte del propietario, del encargado del inmueble o por parte de los propios ocupantes; zona de localización del sitio; existencia de síntomas que puedan deberse a una mala calidad del aire; así como la recopilación de información sobre otras investigaciones que pudieran servir de apoyo.

#### III.2 ENTREVISTAS

La primera fase de las entrevistas consiste en sostener reuniones con el propietario o con el encargado del edificio sobre los siguientes puntos:

- a) Cual es la magnitud y distribución de quejas o molestias en el edificio. Si algunos de los ocupantes requiere cuidados médicos.
- b) El diseño y parámetros operacionales del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (SCVAA); fuente de suministro y cantidad de aire fresco disponible; controles de SCVAA; tipo de humidificadores y como son controlados; cambios recientes en la ventilación; y áreas de atención por las diferentes unidades del SCVAA.



c) Frecuencia y tipo de mantenimiento al SCVAA, tal como lavado y engrasado. Recomendaciones del fabricante: cambio de filtro; prevención del crecimiento de bacterias por uso de biocidas; reparación y limpieza de charcos de agua; y operación de la entrada de aire fresco.

d) Restricciones sobre fumar en las oficinas, en áreas adyacentes o en áreas conectadas al mismo sistema de ventilación. En caso de existir áreas exclusivas para fumar, saber si éstas están diseñadas con sistemas de ventilación separados para no recircular el aire contaminado a otros sitios.

e) Hacer notar si se ha llevado a cabo alguna renovación reciente o mantenimiento que pueda ser causa de contaminantes, tal como: pintado, alfombrado, reparación del aire acondicionado, uso de limpiadores, limpieza de alfombras, desinfección del SCVAA, y aplicación de pesticidas.

f) Considerar si se ha realizado alguna renovación reciente o mantenimiento que pudiera haber alterado los patrones de flujo de aire, como son: la instalación de separaciones o particiones; y la relocalización de entradas y salidas de aire.

La segunda fase de las entrevistas debe realizarse a los ocupantes y abarca los siguientes puntos:

a) Que síntomas o molestias se presentan como pueden ser: dolor de cabeza, cansancio, náuseas, irritación ocular, etc. Cuando se llegan a manifestar tales síntomas y con que frecuencia (estacionalmente, días, horas del día, etc.); en que lugar se manifiestan; desaparecen al salir del edificio o de ciertas áreas de trabajo; están los síntomas relacionados con alguna actividad o área específica; cual es el origen de los síntomas; y si existe algún diagnóstico médico.

b) Características de los ocupantes del edificio. Para este tipo de estudios es importante conocer si son: fumadores, alérgicos; presentan molestias persistentes; enfermos crónicos; y si están recibiendo tratamiento médico.

### III.3 INSPECCION DEL SITIO

En estudios realizados por la NIOSH (Gorman y Wallingford 1989) se determinó que el problema de una mala calidad del aire o una atmósfera de trabajo inadecuada en ambientes interiores se debe a una ventilación inapropiada en un 52% de los casos. Por lo tanto el reconocimiento del sistema de ventilación debe ser inicialmente llevado a cabo.

Durante la inspección, el investigador determinará las características del edificio, discutirá la operación del SCVAA con el personal encargado (Ingenieros de Mantenimiento), verificará y ampliará la información obtenida en las primeras entrevistas. También se debe evaluar el sistema de ventilación para conocer el flujo de aire en los ductos, así como el número de cambios de aire.

Los sitios de estudio se clasifican en áreas afectadas y en áreas con problemas potenciales. En las primeras se tienen las evidencias como para considerar la existencia del problema como son la presencia de

síntomas. Este tipo de áreas pueden ser indicadas de antemano por las personas interesadas en la realización del estudio de calidad del aire.

Las áreas con problemas potenciales se identificarán con base en los siguientes aspectos:

a) Áreas con presencia de fuentes interiores de contaminación atmosférica como son: fotocopiadoras, equipos electrostáticos limpiadores de aire, calentadores, estufas, materiales conglomerados y artículos de consumo (como adhesivos, limpiadores, pinturas), tabaquismo, uso de pesticidas, contaminación generada por construcción o renovación, y áreas de trabajo con presión positiva o negativa.

b) Áreas con posible influencia de las fuentes de contaminación atmosférica del exterior, como ejemplos se tienen: polvos u otros contaminantes por actividades de construcción; estacionamiento; plantas industriales cercanas, y talleres.

c) Áreas con operación del SCVAA con respecto a: localización de entradas y salidas de aire; diferenciales de presión entre los cuartos; diseño para la reposición de aire del exterior, flujo y distribución del aire, salidas de ventilación locales, equipo y sistemas de limpieza del aire, y tiempos de operación del SCVAA.

Como puede observarse la etapa de inspección deberá ser apoyada por las entrevistas, y aunque se especificaron en estas etapas previas varios puntos, estos variarán dependiendo de los problemas en particular que presente el sitio a estudiar. Es recomendable apoyarse en listas de preguntas o cuestionarios para la obtención de la información requerida en los puntos anteriores (Lebowitz et al 1989, Gorman y Wallingford 1989, Goyer y Nguyen 1989).

### III.4 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Este tema consta de dos partes, la primera referente a la instrumentación requerida para la realización de estudios sobre la evaluación de la calidad del aire en interiores, y la segunda respecto a la estrategia de medición considerando aspectos como, la ubicación de los sitios de muestreo en el edificio y periodos de muestreo.

#### III.4.1 METODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

##### III.4.1.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Los principios fundamentales que deben de cumplir los diferentes métodos para la medición de contaminantes atmosféricos en interiores son los mismos que se deben de cumplir para el caso de las mediciones en el exterior. Estos principios son: sensibilidad, especificidad, exactitud y precisión, estabilidad de reactivos y productos, eficiencia de colección, simplicidad, y calibración para el caso de los métodos manuales; mientras que para los métodos automáticos instrumentales además de las características señaladas anteriormente se debe de cumplir con otras características importantes son: velocidad de reacción, coeficiente de temperatura, variabilidad del instrumento, regulación de flujo o presión, y requerimientos de mantenimiento.

Una vez que los principios señalados anteriormente son cumplidos, se recomienda que los equipos empleados ocupen poco espacio, que sean fácilmente portables, y que a diferencia de los equipos utilizados en el exterior, no sean demasiado grandes, ruidosos, y de flujos elevados. Los equipos empleados en monitoreo ambiental exterior por cumplir con los principios fundamentales si pueden ser empleados en estudios de calidad del aire en interiores, no obstante deberán de tomarse en cuenta las recomendaciones señaladas. En cuanto a los equipos diseñados para propósitos de higiene y seguridad industrial, éstos generalmente no tienen la sensibilidad requerida para la evaluación de la calidad del aire en otro tipo de ambientes (Lewis 1989, Lewis y Wallace 1989).

Los contaminantes de mayor interés para las mediciones de calidad del aire en interiores son principalmente: compuestos orgánicos volátiles (VOCs); compuestos orgánicos semivolátiles, como pesticidas e hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs); radón; óxidos de carbono y nitrógeno; y partículas respirables e inhalables. Con excepción del radón, la mayoría de estos contaminantes se incrementan debido a fuentes interiores tales como la combustión, emisiones de materiales conglomerados y muebles, emanaciones procedentes de garages contiguos, o actividades humanas tales como tabaquismo, uso de pesticidas y productos de desinfección y limpieza. Cabe señalar que se ha tenido un progreso significativo en el desarrollo de equipos de monitoreo sensibles para varios de estos contaminantes (Lewis 1989, EPA 1989, Hawtorne et al 1989).

#### III.4.1.2 COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES

La mayoría de los estudios de monitoreo de la calidad del aire en interiores sobre compuestos orgánicos volátiles (VOCs) no polares, han llevado a cabo su colección sobre carbón activado o tenax. El tenax es el adsorbente recomendable ya que puede ser desadsorbido térmicamente para permitir límites de detección mucho menores (EPA 1989, Lewis y Wallace 1989).

Un método desarrollado recientemente por la EPA emplea una colección de aire en "canisters" de acero inoxidable previamente evacuados. El aire puede ser muestreado en estos dispositivos a flujo controlado ya sea mediante el uso de un orificio crítico u otro controlador de flujo sin la ayuda de una bomba, o utilizando esta cuando se trabaje a una presión de varias atmósferas. Una alícuota (usualmente 200 ml) del volumen del "canister" es alimentado a un cromatógrafo de gases (GC) para su análisis con un detector selectivo de masas (MS). Los límites de detección son generalmente menores a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y pueden ser mucho menores para ciertos VOCs utilizando otros detectores. Una ventaja de los canisters sobre la desadsorción térmica en el muestreo es la facilidad para repetir los análisis sobre el mismo o diferentes sistemas analíticos. Los VOCs no polares con presiones de vapor menores o iguales a 0.01 kPa a 20°C y los VOCs polares tan reactivos como el óxido de etileno han demostrado ser estables dentro de los canisters por períodos de una a varias semanas.

En un muestreador diseñado y empleado por la EPA, canisters de 6 litros son llenados pasivamente a un flujo de 3-4 ml/min, colectándose alrededor de 5.5 litros de aire en 24 hrs. Un timer y un selenoide como válvula de control también han sido diseñados para permitir un muestreo intermitente con este sistema por períodos hasta de una

semana. Varias compañías han fabricado recientemente este tipo de muestreador basado en el diseño de la EPA. Algunos de ellos son compactos y no son ruidosos por lo cual son adecuados para el muestreo en interiores, además de ser resistentes por lo cual también pueden emplearse en el exterior (Lewis 1989). Por lo señalado anteriormente, respecto a la facilidad para repetir los análisis y a su disponibilidad comercialmente, es recomendable el método de "canisters".

#### III.4.1.3 COMPUESTOS ORGANICOS SEMIVOLATILES

##### A) PESTICIDAS

La metodología más ampliamente usada en los Estados Unidos para el monitoreo de pesticidas fue desarrollada por la EPA desde 1982. Recientemente se ha empleado en varios estudios de exposición no ocupacional en cerca de 270 casas habitación para determinar las concentraciones de mas de 30 pesticidas y ha sido adoptada por la ASTM (American Society for Testing and Materials) en los Estados Unidos y por la WHO (World Health Organization) en Europa. Pequeñas bombas personales son usadas para muestrear aire a 3.8 l/min a través de un cilindro de espuma de poliuretano de 22 mm de diámetro y 7.6 cm de largo. Los 5.5 m<sup>3</sup> de aire muestreado en 24 hrs. proveen límites de detección en el rango de 1 a 100 ng/m<sup>3</sup> dependiendo del compuesto y de la técnica analítica final empleada (cromatografía de gases con detección selectiva de masas (GC/MS) o cromatografía de gases con detección por captura electrónica (GC/ECD)) (Lewis 1989). La cromatografía de gases constituye el método adecuado para la determinación de pesticidas, ya que es el que se tiene mejor desarrollado y ha dado buenos resultados.

##### B) COMPUESTOS AROMATICOS POLINUCLEARES

La espuma de poliuretano (PUF) ha sido usada varias veces para el muestreo de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) en el aire. La mayoría de los muestreos en el exterior han utilizado ya sea un muestreador de altos volúmenes (Hi-Vol) modificado o un muestreador de partículas denominado PS-1, los cuales hacen pasar el aire a través de un filtro para partículas seguido por una trampa de PUF para coleccionar los vapores de PAHs. El muestreador mas reciente, el cual puede alcanzar flujos hasta de 250 l/min fue modificado por la EPA para su uso en interiores encerrando la bomba de succión en una cabina aislada acústicamente. Este muestreador es muy silencioso en su operación y afortunadamente ya ha sido empleado en varios estudios. También provee un volumen suficiente de muestreo en 12 a 24 hrs. para un análisis GC/MS así como para pruebas de mutagenicidad. Sin embargo, es un equipo grande y el flujo es bastante alto como para usarlo en áreas cerradas pequeñas. En consecuencia un muestreador que trabaje a un flujo menor (15 a 20 l/min) es recomendable. En este equipo el aire es pasado a través de un filtro circular de fibra de cuarzo de 47 mm y posteriormente por un cartucho conteniendo 60 g de resina amberlita XAD-2. Cuando las evaluaciones se llevan a cabo durante periodos continuos de 24 hrs. (150 m<sup>3</sup> de volumen de aire muestreado) y de una manera intermitente en 7 días (190 m<sup>3</sup>) la eficiencia de colección del muestreador es del 90% o más para 29 PAHs de 2 a 6 anillos. El límite de detección usando ionización electrónica GM/MS para compuestos no polares y por ionización química negativa GC/MS para PAHs oxigenados y nitrogenados es de 0.1 ng/m<sup>3</sup> o menos. Cuando se emplea resina XAD-4,

la nicotina es colectada eficientemente (Lewis 1989). Al igual que para el caso de pesticidas, la cromatografía de gases es el método adecuado para la determinación de compuestos aromáticos polinucleares.

### III. 4.1.4 GASES INORGANICOS

#### A) BLOXIDO DE NITROGENO

La mayoría de las mediciones de NO<sub>2</sub> en interiores han sido realizadas con tubos de difusión de Palmes, con un flujo de muestreo de 1 ml/min y un límite normal de sensibilidad de 0.5 mg-h/m<sup>3</sup>, se requieren períodos de exposición de 5 a 7 días.

La EPA ha reconocido la necesidad de un muestreador pasivo más sensible para NO<sub>2</sub> que permita integrar mediciones durante períodos cortos de tiempo en la evaluación de exposiciones en ambientes como la casa o la oficina. Para satisfacer esta necesidad, un muestreador pasivo de alta eficiencia (PSD) desarrollado para VOCs ha sido adaptado para colectar NO<sub>2</sub>. Este pequeño equipo consiste de una serie de vallas de difusión colocadas sobre los filtros de fibra de vidrio tratados con trietanolamina. El flujo de muestreo es de 154 ml/min y su sensibilidad es de 25 µg/m<sup>3</sup> cuando se utiliza para el análisis cromatografía de iones. Los estudios realizados sobre la calidad del aire en interiores han demostrado que el PSD puede fácilmente determinar niveles de NO<sub>2</sub> en un rango de 24 a 140 µg/m<sup>3</sup> en un tiempo de 12 a 24 hrs. Durante el cocinado con estufas que utilizan gas natural como combustible, períodos de exposición de 20 a 60 minutos fueron adecuados (concentraciones observadas de 150-520 µg/m<sup>3</sup>).

Ya que se cree que exposiciones breves a altas concentraciones de NO<sub>2</sub> representan un riesgo acumulativo para la salud, especialmente en los niños, un monitor continuo pequeño fue necesario para su monitoreo. Los primeros esfuerzos para su desarrollo patrocinados por la EPA resultaron en un monitor comercial por quimicoluminiscencia, el Scintrex Luminox LMA3, con una sensibilidad de 1 ppbv y un tiempo de respuesta de 10 segundos. El tamaño (38 x 20 x 22 cm) y el peso (7 kg) de este monitor, así como la posibilidad de operación con baterías, lo hacen ideal para los estudios de calidad del aire en interiores.

La EPA está desarrollando un monitor pequeño de tiempo real basado en detección electroquímica que puede además ser utilizado para monitoreo personal. Un dispositivo prototipo mide 6.3 x 13 x 20 cm, pesa 1.2 kg, tiene un límite de detección de 5 ppbv, y un tiempo de respuesta de 30 segundos (Lewis 1989). El método más recomendable es el ya mencionado LMA3 por su gran sensibilidad, tiempo de respuesta y estar adaptado para mediciones en interiores debido a su facilidad de operación y manejo.

#### B) MONOXIDO DE CARBONO

El método más común para la medición de CO en el aire está basado en su detección por espectroscopia infraroja no dispersiva (NDIR). Mientras que la sensibilidad es bastante buena, los instrumentos NDIR son muy pesados y voluminosos lo cual representa una desventaja para su uso en el monitoreo de la calidad del aire en interiores. Para realizar monitoreos personales, un monitor electroquímico pequeño denominado COED fue desarrollado por la EPA. Dicho monitor mide 15 x

19 x 13 cm., pesa menos de 1 kg., y contiene una celda sensora con un electrolito de polímero sólido y un microprocesador interno que registra y almacena hasta 100 lecturas. Este monitor ha sido empleado satisfactoriamente en investigaciones sobre calidad del aire. La EPA desarrolló un monitor de filtro de gases, el cual además determina vapor de agua y esta disponible para el monitoreo en interiores. (Lewis 1989).

#### C) BIXIDO DE CARBONO

La metodología más adecuada para la determinación de bióxido de carbono es cromatografía de gases, sin embargo cuando no se requiere bastante sensibilidad y/o no se dispone del equipo se recomienda utilizar tubos detectores (OSHA 1990).

#### D) OZONO

A pesar de existir algunas fuentes de contaminación atmosférica interior de ozono, no existen equipos especialmente para este tipo de ambientes por lo que se utilizan aquellos empleados para mediciones en el exterior. Los métodos automáticos más comunes son: quimicoluminiscencia y fotometría, siendo recomendable este último por no requerir tanto espacio, además de no liberar contaminantes durante su operación.

#### E) RADON

La instrumentación para determinar niveles de radón en el aire en ambientes interiores ya esta disponible en Estados Unidos. Comunmente el mayor problema es el uso adecuado del dispositivo de medición para obtener valores exactos. La EPA ya publicó guías para el uso de equipo de muestreo integrados y continuos. Los canisters de carbón (8 a 10 cm de diámetro) con análisis por rayos gama son útiles para muestreos de 1 a 7 días. Detectores alfa pueden ser utilizados para obtener mediciones integradas para periodos de 1 a 12 meses. Actualmente ya se han desarrollado equipos de monitoreo que pueden producir muestreos integrados para periodos cortos y largos, tales equipos emplean un disco cargado electrostáticamente que experimenta una reducción en la carga superficial proporcional a la cantidad de radón expuesto. La EPA además ha instituido un programa nacional sobre medición de radón, bajo el cual todos los monitores presentados por los fabricantes son evaluados y listados (Lewis 1989). El método de disco cargado electrostáticamente es recomendable por su versatilidad en el muestreo de periodos cortos y largos, no obstante se siguen llevando a cabo investigaciones sobre equipo de monitoreo de radón.

#### III. 4.1.5 FORMALDEHIDO

Se han aplicado muchos metodos para la determinación de formaldehído en interiores. El método más comunmente empleado es burbujeando aire a través de una solución de bisulfito de sodio seguido por análisis colorimétrico usando ácido cromotrópico (NIOSH método 3500) o adaptando los equipos PSDs manufacturados comercialmente tales como el monitor 3M 3750. La mayoría de estos métodos son bastante sensibles solamente para atmósferas ocupacionales, donde las concentraciones son relativamente altas.

Un método activo desarrollado por la EPA emplea un cartucho de sílica

gel recubierto con 2,4 dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH) y tiene un límite de detección menor a 2 ppbv-h. En este método el aire se pasa por un cartucho tratado con el reactivo a un flujo de 0.5 a 1.5 l/min de 1 a 24 hrs, posteriormente el análisis por cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC) se determinan concentraciones de formaldehído y de otros 14 aldehídos, así como acetona. El equipo PSD descrito anteriormente también ha sido adaptado para determinar aldehídos mediante el uso de filtros recubiertos con 2,4 DNPH. El PSD muestrea a 103 ml/min y tiene una sensibilidad 10 veces mayor que el método activo. La EPA modificó el monitor continuo para el formaldehído CEA TGM-555 para mejorar su estabilidad y sensibilidad. Este monitor es portátil tanto por su tamaño (50 x 40 x 18 cm) como por su peso (13.6 kg) y puede ser operado con baterías recargables hasta por 12 horas. Adaptando el método de la pararrosanilina, eliminando el tetracloromercurato de sodio y reconfigurando el flujo de liberación del líquido, el monitor puede medir formaldehído continuamente a bajos niveles (10 a 100 ppbv) con alta exactitud y precisión (Lewis 1989).

#### III.4.1.6 PARTICULAS

Como en el caso de otros contaminantes, los muestreadores de partículas empleados para mediciones en el exterior son grandes, ruidosos e incómodos. Algunos monitores continuos para partículas inhalables (IP) están disponibles, pero son demasiado grandes, inadecuados y complejos para su uso en el monitoreo de la calidad del aire en interiores. Sin embargo, existe un equipo de medición continuo que, a pesar de no medir directamente la concentración de partículas, es recomendable para determinar su variación durante el día. Este equipo es denominado muestreador de cinta y determina partículas como "coeficiente de suciedad". Los equipos de monitoreo comerciales pequeños tienen una pobre sensibilidad y/o no tienen validez reconocida para concentraciones bajas de partículas las cuales pueden encontrarse en ambientes no ocupacionales. Para satisfacer la necesidad de un monitor de partículas en interiores, la EPA ha apoyado su desarrollo mediante el "National Institute for Standards and Technology (NIST)". Este equipo es pequeño, tiene un sistema dual que separa las partículas por su tamaño en respirables (de 0 a 2.5  $\mu\text{m}$ ) e inhalables (de 2.5 a 10  $\mu\text{m}$ ) trabajando a un flujo de 6 l/min y es operado por baterías. La separación de las partículas es geométrica y se logra utilizando un filtro de nucleoporo de 8 mm seguido por un filtro absoluto. El muestreador mide 10 x 10 x 18 cm y pesa 1.6 kg y puede operar continuamente de 20 a 60 hrs. También ha sido desarrollado recientemente por la EPA un muestreador personal pequeño, el cual consiste de un portador cilíndrico de metal para un filtro de teflón de 37 mm (2 x 4 cm) con dos orificios (2.5 y 10  $\mu\text{m}$ ), y una bomba para lograr un flujo de aire de 4 l/min. Suficiente cantidad de partículas puede ser colectada en 24 hrs. para su posterior análisis gravimétrico y fluorescencia de rayos X (Lewis 1989).

#### III.4.1.7 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Adicionalmente al monitoreo de contaminantes atmosféricos es necesario realizar mediciones de condiciones ambientales como humedad relativa y temperatura ya que un sistema de ventilación y aire acondicionado deberá controlar estas condiciones para proporcionar a los ocupantes de un edificio una situación de comodidad o "confort" (ASHRAE 1967,

Threlkeld 1983). La importancia de estas mediciones radica en que una situación no confortable podría traer como consecuencia síntomas en los ocupantes del edificio similares a los ocasionados por una calidad del aire inadecuada. Los equipos recomendados para la medición simultánea de la temperatura ambiente y humedad relativa son: el psicrómetro, el cual da mediciones instantaneas; y el higrotermógrafo que es más adecuado por realizar las mediciones continuamente además de registrarlas. En la Figura 3 se presenta la carta de confort de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE).



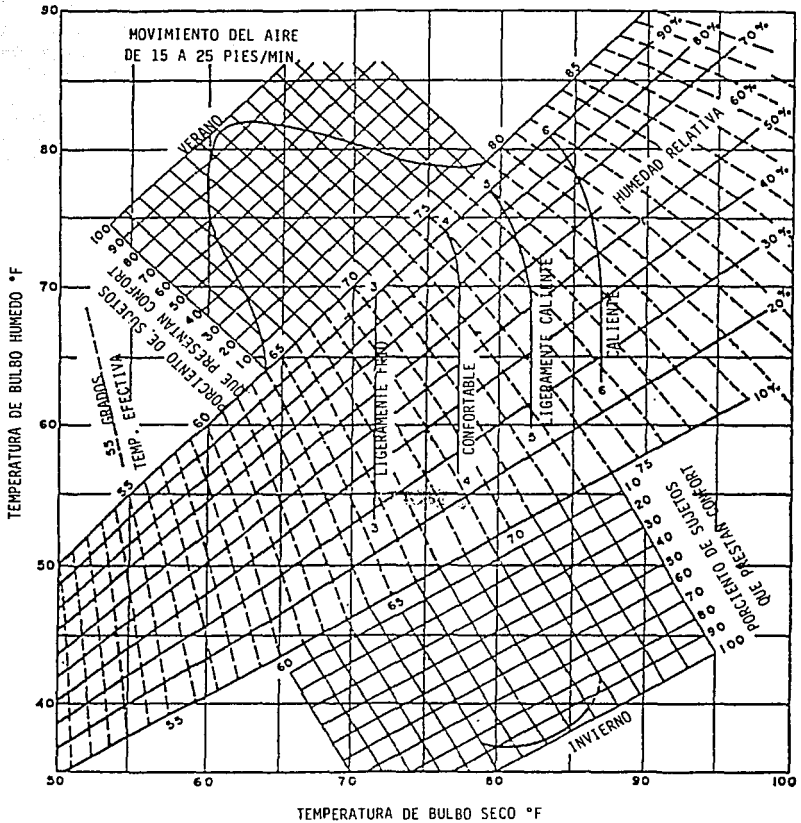


Figura 3 Carta de confort de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE).

### III.4.2 ESTRATEGIA DE MEDICION

Quando se va a realizar un estudio sobre la evaluación de la calidad del aire en interiores es muy importante seleccionar adecuadamente el sitio de muestreo de los contaminantes de interés, así como los períodos de medición, por lo cual los resultados del monitoreo pueden tener poco valor si no se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

-La gravedad del problema puede variar dependiendo de la hora del día o del día de la semana.

-La calidad del aire del exterior varia de lugar a lugar y puede afectar la calidad del aire en el interior.

-El tipo y cantidad de contaminantes atmosféricos presentes en el interior dependerá de la edad y la altura del edificio, el tipo de sistema de ventilación, los materiales de estructuras y muebles, el clima local y el tiempo del año.

-El equipo de monitoreo puede no estar trabajando correctamente.

Para una evaluación efectiva es necesario establecer una base de comparación para los datos del contaminante tomando mediciones en sitios de control y compararlas con las mediciones realizadas en sitios de muestreo o de prueba localizados en el interior del edificio. Lo anterior considera variaciones en la calidad del aire exterior y diferencias entre edificios, variaciones con el tiempo, y puede compensar el mal funcionamiento del equipo (AESPW 1989, Cox et al 1988, Masahiro et al 1990).

Los sitios de control convenientes son:

-Entradas de aire en el exterior.

-Un sitio en el exterior (sobre todo cuando la entrada de aire pudiera estar contaminada).

-Sitios en el interior donde se asuma que esten libres de los contaminantes que estan siendo medidos.

Los sitios de muestreo o de prueba convenientes son:

-Lugares que puedan contener una o más fuentes del contaminante a determinar.

-Sitios en donde se hayan presentado manifestaciones de un posible impacto por contaminantes atmosféricos (tomar en cuenta que los contaminantes se mueven en el edificio por diversas trayectorias de aire).

-Salidas de aire.

Es adecuado determinar los niveles más altos de los contaminantes provenientes de la estructura del edificio, muebles o ventilación (formaldehído, algunos compuestos orgánicos volátiles, contaminación biológica, etc.) durante las mañanas si el sistema de ventilación es

apagado durante la noche (la mayoría de los sistemas de ventilación funcionan así). Sin embargo, los contaminantes generados por los ocupantes (tal es el caso del bióxido de carbono) o por sus actividades (fotocopadoras, químicos empleados en distintas actividades, etc.) es mejor detectarlos finalizando el periodo de labores.

También se debe de considerar la época del año. Si el edificio opera con un ciclo economizador de energía, los cambios de aire fresco serán mayores a mediados del invierno y a mediados del verano. Además algunas fuentes de contaminación son estacionales como pueden ser: humidificadores en invierno, sistemas de aire acondicionado en el verano, pollen en verano, etc.

Lo anterior da los criterios generales para seleccionar donde y cuando realizar el monitoreo de la calidad del aire. Detalles sobre estos criterios para cada contaminante son listados en la Tabla II para localización de sitios de control y en la Tabla III para la localización de los sitios de prueba o muestreo (AKSPW 1989). En esta última Tabla la localización de los sitios de muestreo se refiere a áreas dentro del edificio en las cuales ya se ha identificado la presencia de fuentes de contaminantes o se han presentado quejas. Usualmente es recomendable llevar a cabo las mediciones de control y de prueba simultáneamente, lo cual puede tener como limitación la disponibilidad de equipo. La localización de sitios de control no es necesaria para temperatura, humedad relativa y mediciones del movimiento del aire, ya que estos parámetros son controlados por el sistema de ventilación y aire acondicionado del edificio. Por lo tanto los valores esperados de estos parámetros en el interior serán de antemano diferentes a los encontrados en el exterior. El factor más importante para la determinación del número de sitios de control lo constituyen las entradas de aire. Si la única entrada de aire al edificio lo constituye el sistema de aire acondicionado con un sitio de control localizado en el exterior en la toma de aire es suficiente.

Quando uno de los propósitos es comparar con normas de calidad del aire estas nos indicarán los periodos de muestreo para poder realizar su comparación con los resultados obtenidos. En la siguiente sección se especificarán algunos niveles recomendados para diversos contaminantes en ambientes interiores.

Lo ideal es monitorear continuamente durante las 24 hrs. del día, durante los diferentes días de la semana aún incluyendo días no laborables, lo cual nos llevará no solamente a poder manejar la información para comparar con niveles recomendados, sino además detectar variaciones con el tiempo y el efecto de las distintas actividades de tal modo que se apoyarán las decisiones tendientes a controlar la contaminación atmosférica y por lo tanto mejorar la calidad del aire en el interior del edificio.

TABLA II. - LOCALIZACION ADECUADA DE SITIOS DE CONTROL EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES.

CONTAMINANTE	LOCALIZACION DEL SITIO DE CONTROL
BIOXIDO DE CARBONO	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), A NIVEL DE CALLE O EN LA AZOTEA DEL EDIFICIO, AREAS NO OCUPADAS.
MONOXIDO DE CARBONO	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), AZOTEA O PISOS ALTOS, POR ARRIBA DEL SEGUNDO PISO.
FORMALDEHIDO	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), AREAS INTERIORES PROTEGIDAS DEL AIRE O LA LLUVIA, AREA DE RECEPCION.
PARTICULAS	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), AZOTEA O PISOS ALTOS EN EL INTERIOR DEL LADO DEL EDIFICIO CON FILTROS PARA PARTICULAS, AREAS NO OCUPADAS.
RADON	EXTERIOR, AREAS INTERIORES PROTEGIDAS DEL VIENTO O LA LLUVIA, ARRIBA DEL SEGUNDO PISO.
COVs	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), A NIVEL DE LA CALLE O AZOTEA, FUERA DE FUENTES DE CONTAMINACION IDENTIFICADAS.
CONTAMINANTES BIOLÓGICOS	ENTRADAS DE AIRE EN EL EXTERIOR (SI NO ESTAN CONTAMINADAS), AZOTEA, AREAS DONDE NO SE TENGA LA PRESENCIA DE MOHOS, AGUA, O PLANTAS.

TABLA III.-LOCALIZACION ADECUADA DE SITIOS DE MUESTREO Y TIEMPOS IDEALES DE MEDICION EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES.

CONTAMINANTE O PARAMETRO	LOCALIZACION DEL SITIO DE MUESTREO	TIEMPO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES
BIOXIDO DE CARBONO	FUENTES DEL CONTAMINANTE, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS, DUCTOS DE SUMINISTRO DE AIRE MEZCLADO. SALIDAS DE AIRE	EN LA MAÑANA, EN LA TARDE, CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE
MONOXIDO DE CARBONO	FUENTES DEL CONTAMINANTE, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS, TIROS DE ESCALERAS O ELEVADORES COMUNICADOS CON SUS FUENTES, SALIDAS DE AIRE	PRIMERAS HORAS DE LA MAÑANA. EN LA TARDE, CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE
FORMALDEHIDO	FUENTES DEL CONTAMINANTE, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS	PRIMERAS HORAS DE LA MAÑANA, CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE
PARTICULAS	FUENTES DEL CONTAMINANTE, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS, SALIDAS DE AIRE	EN LA TARDE
RADON	FUENTES DEL CONTAMINANTE	CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE
COVs	FUENTES DEL CONTAMINANTE (EN EL EDIFICIO), AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS, SALIDAS DE AIRE	PRIMERAS HORAS DE LA MAÑANA, LUNES, CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE
COVs	FUENTES DEL CONTAMINANTE (ACTIVIDADES), AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS, SALIDAS DE AIRE	EN LA MAÑANA, EN LA TARDE, CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE

TABLA III.-CONTINUACION

CONTAMINANTE O PARAMETRO	LOCALIZACION DEL SITIO DE MUESTREO	TIEMPO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES
CONTAMINANTES BIOLÓGICOS	FUENTES DEL CONTAMINANTE, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS	PRIMERAS HORAS DE LA MANANA, LUNES. CUANDO EL CAMBIO DE AIRE FRESCO DISMINUYE. EN VERANO
TEMPERATURA	AREAS SIN TERMOSTATOS, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS	PRIMERAS HORAS DE LA MANANA, EN LA TARDE
HUMEDAD RELATIVA	SUMINISTRO DE AIRE AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS	EN LA MANANA, LUNES, A MEDIADOS DEL INVIERNO Y DEL VERANO
MOVIMIENTO DEL AIRE	CERCA DE DIFUSORES, CERCA DE SALIDAS DE AIRE DE CUARTOS O SALONES, AREAS QUE PRESENTEN QUEJAS	MIENTRAS EL SISTEMA DE VENTILACION ESTE OPERANDO NORMALMENTE

ARQUITECTURAL & ENGINEERING SERVICES PUBLIC WORKS 1989

### III.5 ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos por el monitoreo consiste en comparar estos valores con normas de calidad del aire o niveles recomendados para ambientes interiores. La Tabla IV muestra los valores aceptables y no aceptables para ciertos contaminantes (AESPW, 1989), considerando los siguientes rangos:

- 1) Valores medidos normalmente en el exterior. Las lecturas obtenidas en los sitios de control del exterior deben de estar en este rango.
- 2) Valores medidos normalmente en interiores. Estos valores no deben estar asociados con quejas acerca de la calidad del aire.
- 3) Valores que indican posibles problemas. Los valores medidos en este rango no son lo bastante elevados como para recomendar acciones inmediatas en el caso de ser obtenidos en los sitios de muestreo.
- 4) Valores que no deben de ser excedidos en el interior, si los sistemas del edificio estan funcionando adecuadamente y si los ocupantes se encuentran en una situación de confort. Estos estan basados principalmente en los estandares de calidad de aire para interiores fijados por la ASHRAE. En general estos estandares son mucho más estrictos que los encontrados en las leyes sobre higiene ocupacional. Si los valores medidos caen dentro de esta categoría es probable que solamente la situación de confort sea afectada, pero no la salud. Donde existan dudas, debe de asumirse que el riesgo a la salud puede estar presente, y que la situación debería de ser inmediatamente considerada por las autoridades responsables.

Para cada tipo de medición se compararán los valores obtenidos por el monitoreo con los valores de la Tabla IV, de lo cual se tendrán varias situaciones posibles.

-Si todos los datos obtenidos por los monitoreos en los sitios de prueba (muestreo) y control caen dentro de los rangos normales tanto en el exterior como en el interior, cualquier problema existente no será originado por los contaminantes de interés (considerando que el equipo de monitoreo esta funcionando correctamente).

-Si los sitios de control arrojan valores en el rango normal, y uno o más sitios de muestreo dan resultados en el rango que señala "no exceder" (rango 4), existe un problema que debe ser corregido.

-Si los valores obtenidos en los sitios de control caen dentro del rango normal y uno o más sitios de muestreo dan resultados en el rango que indica "posibles problemas" (rango 3), es necesario monitoreos más detallados.

-Si los sitios de muestreo y control dan valores en el rango que señala "posibles problemas" (rango 3), el problema puede deberse al aire proveniente del exterior o al equipo de monitoreo (chechar la calibración).

Las mediciones de humedad relativa y temperatura deberán ser comparadas con los rangos seguidos por la ASHRAE como ya se indicó

Temperatura de invierno: 19.5-24.6 C  
Humedad relativa de invierno: 25-85%  
Temperatura de verano: 22.6-27.2 C  
Humedad relativa de verano: 25-70%

Para otros contaminantes que pueden estar presentes y que no existen específicamente normas de calidad del aire para interiores, se recomienda utilizar las normas de calidad del aire empleadas para el exterior indicándose en la Tabla V las Normas de Calidad del Aire de los Estados Unidos y en la Tabla VI las Normas Mexicanas de Calidad del Aire (Bravo 1987).

Los estudios sobre la evaluación de la calidad del aire en interiores se enfrentan entre otros aspectos a la disponibilidad del equipo y a limitaciones respecto al tiempo destinado para la realización de la investigación. Esto se debe en gran medida a que el monitoreo puede causar inconvenientes a los ocupantes del edificio y por tal razón es muy difícil llevar a cabo estudios durante un periodo de tiempo bastante largo.

Deberá realizarse un análisis estadístico para fundamentar las conclusiones del estudio en cuanto al comportamiento de los contaminantes respecto al sitio de muestreo y su variación con el tiempo, para lo cual es necesario llevar a cabo las mediciones durante periodos laborables y no laborables, como son las diferentes horas del día y días de la semana. Y una vez generados los datos se procederá a realizar pruebas de bondad de ajuste y homogeneidad de variancias para posteriormente llevar a cabo pruebas de igualdad de medias y el análisis de variancia

No cabe duda que lo recomendable es evaluar la calidad del aire durante periodos largos de tiempo para obtener un mayor número de muestras, y en el caso de varios meses o años de estudio la información podrá analizarse estadísticamente para determinar la tendencia y el comportamiento de los distintos contaminantes, siendo uno de los métodos mas recomendables el análisis por series de tiempo.



TABLA IV.-EVALUACION DE DATOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL  
AIRE EN INTERIORES.

CONTAMINANTE	NIVELES DE CONCENTRACIONES			
	NORMALES EN EL EXTERIOR	NORMALES EN EL INTERIOR	POSIBLES PROBLEMAS	LIMITE QUE NO SE DEBE EXCEDER
BIOXIDO DE CARBONO (ppm)	330-400	330-800	800-1000	1000
MONOXIDO DE CARBONO (ppm)	0-4	0-4	4-9	9
FORMALDEHIDO (ppm)	0-0.02	0-0.1	0.1-0.4	0.4
RADON (WL)	0	0-0.01	0.01-0.027	0.027
RADON (pCi/L)	0	0-2	2-4	4

ARQUITECTURAL & ENGINEERING SERVICES PUBLIC WORKS 1989

TABLA V.- NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE DE LOS ESTADOS UNIDOS

CONTAMINANTE	CONCENTRACION	TIEMPO PROMEDIO*
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	9 ppm 36 ppm	8 HORAS 1 HORA
PLOMO (Pb)	1.5 µg/m <sup>3</sup>	3 MESES
BIOXIDO DE NITROGENO (NO <sub>2</sub> )	0.05 ppm	ANUAL
OZONO (O <sub>3</sub> )	0.12 ppm	1 HORA
PARTICULAS (PM-10)	150 µg/m <sup>3</sup> 50 µg/m <sup>3</sup>	24 HORAS ANUAL
BIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> )	0.14 ppm 0.03 ppm	24 HORAS ANUAL

\* Aquellos contaminantes que no tengan norma anual, no deberan de exceder su norma de calidad del aire indicada mas de una vez al año.

TABLA VI.- NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD DEL AIRE.

CONTAMINANTE	CONCENTRACION	TIEMPO PROMEDIO
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	13 ppm	8 HORAS
BIOXIDO DE NITROGENO (NO <sub>2</sub> )	0.21 ppm	1 HORA
OZONO (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm	1 HORA
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)	275 µg/m <sup>3</sup>	24 HORAS
BIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> )	0.13 ppm	24 HORAS

### III.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar los resultados del monitoreo de la calidad del aire en cuanto a: niveles presentes de contaminantes; variación de estos durante el día, semana y estación; y efecto de las diferentes actividades, en esta etapa final de conclusiones y recomendaciones se deberán de establecer el origen y comportamiento de tales contaminantes, así como indicar las diferentes medidas o estrategias tendientes a mejorar la calidad del aire en el o los sitios de interés.

La complejidad en el comportamiento y en las fuentes de los distintos contaminantes, hacen difícil el establecimiento apriori de recomendaciones para cada contaminante en particular, por lo cual estas se podran establecer una vez que se termine el análisis de resultados del monitoreo. No obstante, si se tienen recomendaciones para las medidas correctivas de una manera global. Para lograr resultados satisfactorios se recomienda enfocar las medidas correctivas de acuerdo a los puntos que se tratan a continuación (OSHA 1990).

#### RECOMENDACIONES TECNICAS

1. Ventilación. Incluye el uso de dilución natural, salidas de aire locales, e incremento en la eficiencia del sistema de ventilación:

a) El control más efectivo para la prevención de problemas debidos a una mala calidad del aire es asegurar un adecuado suministro de aire fresco del exterior a través de ventilación natural o mecánica.

b) La ASHRAE recomienda 15 ft<sup>3</sup>/min (0.42 m<sup>3</sup>/min) de aire del exterior por ocupante en oficinas. Para salas de fumadores hasta 60 ft<sup>3</sup>/min (1.7 m<sup>3</sup>/min) de aire del exterior por ocupante debe ser suministrado.

c) Usar salidas locales de ventilación así como capturar y remover los contaminantes generados por procesos específicos. El aire del salón en el cual los contaminantes son generados debe ser descargado directamente al exterior en lugar de ser recirculado.

d) La eficiencia de ventilación puede ser mejorada de las siguientes maneras:

-Asegurando que los reguladores de suministro de aire y los venteos del cuarto o salón esten abiertos.

-Removiendo o modificando las particiones u obstrucciones que bloqueen el flujo de aire fresco.

-Rebalanceando el sistema para prevenir entradas o salidas de aire contaminado debido a diferenciales de presión entre los salones,

-Previeniendo una pobre distribución de aire de repuesto mediante la localización adecuada de las entradas y salidas de aire,

-Empleando ventiladores en los salones para mejorar el mezclado y dilución de los contaminantes.

e) Las entradas de aire del exterior no deben estar localizadas cerca de fuentes potenciales de contaminación (garages, torres de enfriamiento, venteos de otros edificios, carreteras, etc).

2. Tratamiento del Aire. Este punto implica la remoción de los contaminantes del aire y el control de la temperatura y humedad relativa del sitio de interés:

a) Uso de equipos limpiadores por filtración, tratamiento químico con carbón activado u otros adsorbentes.

b) Control de la humedad en el rango de 20-60%.

c) Control de la temperatura en el rango de 68-76 F.

3. El control en la fuente incluye sustitución, remoción, encapsulado, ventilación con salidas locales, y el uso de barreras físicas.

#### RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO Y PRACTICA DEL TRABAJO.

##### 1. Mantenimiento preventivo

a) Los planes de mantenimiento preventivo para humidificadores, atomizadores de agua, y otros componentes del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado incluyen:

-Checar la posición de los reguladores de tiro y bandas de funcionamiento, deflectores, ductos y el balance del sistema.

-Medir el flujo de aire y llevar a cabo los ajustes necesarios para cumplir con las recomendaciones de la ASHRAE.

-Reemplazar a intervalos regulares los filtros de las unidades de manejo de aire.

-Limpiar los ductos de distribución del aire y los reguladores de tiro.

-Reemplazar los aislamientos dañados.

b) Contaminación microbiana. Eliminar o controlar todas las fuentes conocidas o potenciales de contaminantes microbianos mediante limpieza o reparación de todas las áreas donde la colección de agua y encharcamiento se presente incluyendo pisos, azoteas, el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, drenes, humidificadores, lavadores de aire, filtros, etc.

-Remover y descartar materiales orgánicos porosos que estén contaminados, tales como: aislamientos de humedad del sistema de ventilación, tejados y alfombras enmohecidos, etc.

-Limpiar y desinfectar superficies no porosas donde el crecimiento microbiano este presente, con detergentes, cloradores u otros biocidas y asegurar que los limpiadores hayan sido removidos antes de que el sistema de suministro de aire vuelva a entrar en operación.

-Mantener la humedad relativa interior por debajo del 60% y del 50% donde las superficies frías estén en contacto con el aire del salón.

-Ajustar la entrada de aire del exterior para evitar la contaminación por suelos cercanos, residuos vegetales, torres de enfriamiento, venteos sanitarios, etc.

-Ajustar las fuentes de combustión tales como hornos o calentadores de agua para asegurar una combustión apropiada y la salida de los gases enviarla hacia un area en donde no se tenga recirculación de aire.

2. Minimizar la exposición reduciendo la permanencia en espacios contaminados, limitando el uso de fuentes de contaminación en áreas o tiempos específicos, y evacuando áreas contaminadas hasta que sean ventiladas apropiadamente.

a) Aislar, las áreas de renovación, recién pintadas, con alfombrado nuevo, que se les haya aplicado recientemente pesticidas, etc., de las áreas ocupadas.

b) Realizar las actividades que generen contaminación, como las indicadas en el inciso a), durante las tardes y en los fines de semana. Si la ventilación es apagada durante los fines de semana u otros periodos, asegurarse de que el sistema de ventilación sea encendido de tal manera que las concentraciones de los contaminantes estén suficientemente diluidas antes de que la gente ocupe el lugar.

c) Suministrar ventilación adecuada durante y después del periodo laboral para ayudar a diluir los niveles de contaminantes.

d) El personal afectado por hipersensibilidad deberá ser evaluado completamente y el problema identificado y corregido antes de que estas personas retornen al sitio de trabajo. Si después de la acción correctiva, las molestias persisten en el sitio, las personas afectadas deberán ser reasignadas permanentemente a otra area.

3. Eliminar o reducir la contaminación del aire ocasionada por el consumo de cigarros mediante su prohibición o restricción a areas designadas las cuales deberán tener su descarga de aire directamente al exterior en lugar de recircularla.

La aplicación de las diferentes medidas señaladas en esta sección dependen del caso que se este estudiando, lo cual realmente nos lleva a elegir entre las diferentes medidas correctivas posibles.

#### IV. PARTE EXPERIMENTAL (CASO EJEMPLO)

La metodología empleada, de acuerdo con el Capítulo III, consistió de las etapas de : antecedentes del estudio, entrevistas, inspección del sitio, monitoreo de la calidad del aire, análisis de resultados, y finalmente en el último capítulo conclusiones y recomendaciones.

##### IV.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.

El presente trabajo constituye uno de los primeros esfuerzos para evaluar la calidad del aire en interiores en un edificio localizado en la Ciudad de México. Existen hasta la fecha dos estudios reportados en la literatura sobre el tema en nuestro país. El primer estudio se realizó en tres pisos diferentes de un edificio de diez pisos localizado en la zona sur de la Ciudad de México, en el cual se determinaron: partículas, ozono, formaldehído, y monóxido de carbono (Bravo et al 1989). Los niveles encontrados de partículas, formaldehído y monóxido de carbono en el interior estuvieron por arriba de los niveles encontrados en el exterior. En el segundo estudio se determinaron niveles de formaldehído en dos inmuebles de oficinas en la Ciudad de México y al igual que en el primer estudio tales niveles fueron superiores en el interior, sobre todo en el edificio donde se tuvo una recirculación de aire prácticamente del 100% (Bravo et al 1990). Entre los proyectos llevados a cabo por la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, se encuentra la investigación titulada: "Evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores", de la cual forma parte este trabajo. Aunado a lo anterior se tiene el interés de algunas compañías, que residen en edificios de oficinas, de mejorar la calidad del aire en sus inmuebles, lo cual es de elogiar. Cabe hacer notar que en el edificio estudiado las condiciones de mantenimiento fueron muy buenas, por lo que el interés manifestado por los responsables del edificio consiste en querer dar a sus ocupantes mejores condiciones de trabajo, para lo cual una calidad del aire adecuada es muy importante. El edificio consta de siete pisos y se encuentra localizado en una esquina sobre la Avenida Paseo de la Reforma cerca del Centro de la Ciudad de México. Por motivos de confidencialidad a la compañía en donde se llevó a cabo el estudio no se detalla mayormente su localización. No obstante los propósitos de este trabajo, que fueron evaluar la calidad del aire en un edificio de la Ciudad de México para que a partir de los resultados obtenidos se puedan detectar los problemas y en el caso de presentarse estos proponer las medidas correctivas adecuadas, si se lograron cumplir.

##### IV.2 ENTREVISTAS

En la primera fase correspondiente a la entrevista con los responsables del inmueble se observó un gran interés en la realización del estudio y la información obtenida fue:

-No se habían detectado a la fecha quejas o molestias del personal que pudieran atribuirse a una atmósfera de trabajo inadecuada, o el personal desconocía que ciertos padecimientos se podrían deber a esta causa.

-El diseño del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (SVCAA) alimenta el aire a todo el edificio tomándolo completamente del exterior, esto es no hay recirculación. También existe intercambio de aire con el exterior a través de 2 puertas una localizada en la esquina y otra en la calle lateral (Ver figura 4).

-El SCVAA recibe el mantenimiento adecuado para su operación pero no tiene filtros o algún otro dispositivo para evitar o disminuir la entrada de contaminantes del exterior.

-Si es permitido fumar en el edificio.

-La limpieza del edificio se realiza diariamente. Este tipo de actividad de una manera mas compleja, como puede ser limpieza de cristales, pulido de pisos, etc., se realiza durante los fines de semana.

En la segunda fase de las entrevistas que corresponde a los empleados, la información básica encontrada se refiere a las quejas o molestias que se manifestaron así como el posible impacto por la presencia de la gente, por lo cual fue necesario conocer el número de personas y si estas eran fumadoras, para cada area de trabajo. Con el apoyo de los responsables del edificio, se les hicieron a cada uno de los ocupantes las preguntas presentadas en el siguiente formato:

PERSONA	FUMA		CANTIDAD DE CIGARROS FUMADOS AL DIA	PRESENTA MALESTARES EN EL EDIFICIO		CUALES
	SI	NO		SI	NO	
1						
"						
"						
"						
n						

Los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas a cada uno de los ocupantes clasificandolos de acuerdo a los pisos del edificio se presentan en la Tabla VII.

TABLA VII. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ENTREVISTAS A LOS OCUPANTES DEL EDIFICIO

PISO	OCUPANTES	FUMADORES	NO. CIGARROS CONSUMIDOS AL DIA	PERSONAS QUE PRESENTAN MOLESTIAS
PLANTA BAJA	16	10	120	4
PRIMER PISO	35	18	205	5
SEGUNDO PISO	16	9	100	4
TERCER PISO	48	24	135	10
CUARTO PISO	23	10	137	5
QUINTO PISO	35	23	200	14
SEXTO PISO	12	6	23	NINGUNA
TOTAL	185	100	920	42

Entre las principales molestias que presentaron las personas afectadas destacan: lagrimeo y ardor de ojos, dolor de cabeza y ardor de garganta. Es interesante mencionar que de las 42 personas afectadas solamente 16 fuman.

Lo anterior solamente pretendió identificar la presencia del tabaquismo en el edificio ya que es señalado como una de las fuentes de contaminación del aire más importantes en interiores, y en ningún momento se busco la relación de la contaminación con efectos en la salud lo cual constituiría una investigación epidemiológica.

#### IV.3. INSPECCION DEL SITIO

El edificio estudiado consta de siete pisos (planta baja, primer piso.....sexto piso) y se encuentra localizado en una esquina en la Avenida Reforma cerca de la zona centro de la Ciudad de México tal y como se presenta en la Figura 4.

El sistema de aire acondicionado alimentaba el aire a todo el edificio tomándolo completamente del exterior. Se tenían dos puertas mediante las cuales se presentó un intercambio de aire con el exterior. La primera puerta se encontraba normalmente abierta durante el periodo de trabajo, localizada en la esquina y presentando un intercambio de aire entre el exterior (calle) con una sección de la planta baja, la cual se encontraba dividida en dos secciones separadas por una puerta la cual estaba normalmente cerrada. La segunda puerta localizada en la calle lateral también se encontraba normalmente abierta durante las horas de trabajo y comunicaba al primer piso por una escalera, partiendo desde ahí el tiro de aire.



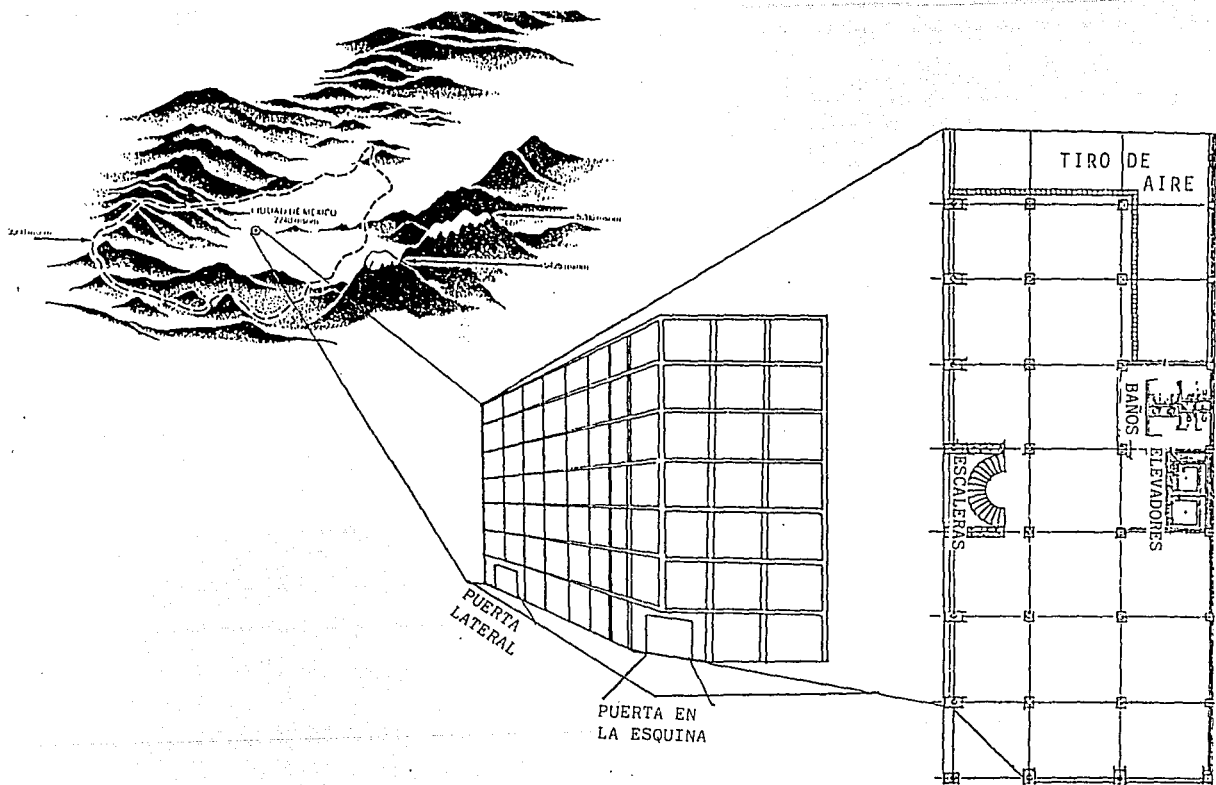


Figura 4.- Edificio en el cual se realizo la evaluaci3n de la calidad del aire.

Mediante la puerta lateral se tuvo un intercambio de aire con el exterior el cual fue subiendo por una escalera al primer piso y conectándose mediante un tiro de aire que va desde esta entrada hacia todos los pisos, encontrándose en la parte mas alta del edificio unas persianas por las cuales salia el aire a la azotea. Este tiro de aire fue el unico distribuidor de aire fresco junto con el sistema de aire acondicionado.

El sistema de aire acondicionado no tenia dispositivos de control, como son: filtros, lavadores, camas de carbón activado, etc., para evitar que los contaminantes del exterior penetren al interior del edificio. Como no fue posible realizar mediciones del sistema de ventilación, mas adelante en la sección de monitoreo se considerarán parámetros como humedad relativa y temperatura ambiente, además de bióxido de carbono, como indicador de un buen intercambio de aire.

A excepción de la planta baja, como ya se indicó, y del primer piso que tenían dos secciones separadas cada uno, los otros pisos mantienen la configuración que se señalo en la Figura 3, a no ser por algunos cubiculos cerrados muy especificos. Posteriormente cuando se señale la localización de los sitios de muestreo, se indicara esta configuración por piso.

Las actividades llevadas a cabo en todos los pisos fueron de oficina como: secretarias, contabilidad, y otras de escritorio. En el sexto piso la sección cercana al tiro de aire se utilizaba como comedor o desayunador para reuniones de trabajo.

Todos los pisos presentaron fuentes potenciales de formaldehido como son: paneles, plafones, muebles, alfombras, etc. conteniendo resinas de urea-formaldehido, por lo cual fue de esperarse su presencia.

El consumo de cigarros como pudo observarse en la Tabla VII, aunque presentò diferencias entre cada piso, es bastante elevado en todos. Parecería bajo este consumo en el sexto piso, ya que es de 23 cigarros al día, sin embargo esto representò solamente a la población fija. Recordando que en este último piso (sexto) se llevan a cabo reuniones en el comedor, es fácil percatarse del posible impacto por parte de la población flotante y que es muy difícil de cuantificar. Simplemente por la actividad de fumar fueron esperados varios contaminantes como monóxido de carbono y partículas, además de otros igual o más peligrosos pero más difíciles de detectar. Estos dos contaminantes (monóxido de carbono y partículas) también fueron de esperarse por contribución del exterior por estar localizado el edificio en una avenida de gran tráfico vehicular además de tener normalmente sus puertas de acceso abiertas.

En el tercer piso se tenia una fotocopiadora y aunque en un momento dado constituyó una fuente potencial generadora de ozono en el interior fue de esperarse que la presencia de este contaminante se debiera al aire proveniente del exterior.

Se corroboró la información sobre la limpieza del edificio diariamente y durante los fines de semana.

#### IV.4. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

##### IV.4.1. METODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los contaminantes determinados con base en su posible impacto en la calidad del aire del edificio de acuerdo a los antecedentes, entrevistas e inspección del sitio, así como a la disponibilidad del equipo fueron: partículas, formaldehído, monóxido de carbono, bióxido de carbono, y ozono. En el caso de partículas se realizaron mediciones de partículas inhalables además de partículas como coeficiente de suciedad con el fin de poder determinar su comportamiento durante el día. La determinación de partículas, monóxido de carbono y formaldehído fue debido a la presencia de sus fuentes de contaminación, mientras que el ozono se debió a la existencia de altos niveles en el exterior y su posible influencia en el interior. El bióxido de carbono fue medido con el propósito de revisar si la ventilación era adecuada, complementándose la evaluación de la operación del sistema de aire acondicionado con las mediciones de humedad relativa y temperatura. Otros contaminantes de interés son: compuestos orgánicos volátiles, pesticidas y compuestos aromáticos polinucleares como la nicotina; pero desafortunadamente no se pudieron determinar debido a la falta del equipo necesario.

##### IV.4.1.1. PARTICULAS INHALABLES

El equipo utilizado fue un impactador de cascada Andersen de ocho etapas. Este equipo colecta partículas en función de su diámetro aerodinámico y simula la penetración y retención de estas en el aparato respiratorio. Las partículas colectadas por este método tienen un rango de diámetro aerodinámico que va de 0.01 micras hasta 11 micras, que abarca el rango de las partículas inhalables.

La determinación de la cantidad de partículas en peso se realizó gravimétricamente, previo a un acondicionamiento a humedad y temperatura constante, de acuerdo a métodos sugeridos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA 1983a). El muestreo de partículas inhalables fue realizado por periodos de 8 horas al día, considerando una jornada de trabajo normal.

##### IV.4.1.2 PARTICULAS COMO COEFICIENTE DE SUCIEDAD

El equipo utilizado para determinar partículas (sobre todo carbonaceas) como coeficiente de suciedad (cuyas unidades son COHs) fue un muestreador de cinta. Este instrumento utiliza un principio de colección que es la filtración de un volumen conocido de aire por medio de una cinta y la determinación posterior del grado de intensidad de la mancha producida por técnicas de transmitancia o absorbancia de luz (Lodge 1989). Colocada la cinta en posición de muestreo se hace pasar un flujo constante de aire ambiente en forma continua, reteniéndose en su superficie las partículas que son responsables de la suciedad atmosférica. La cinta fue cambiada de posición de muestreo en períodos continuos de 2 horas cada uno, por lo

que fue posible conocer el comportamiento de la suciedad atmosférica durante el día en períodos establecidos, teniéndose la limitación de no obtener valores de concentración.

#### IV.4.1.3. FORMALDEHIDO

El método utilizado para la determinación del formaldehído fue el del ácido cromotrópico y análisis por espectrofotometría, en el cual la muestra de aire es burbujeada continuamente en una solución absorbente por el periodo de tiempo seleccionado (8 horas) a un flujo de 2 L/min. Para este propósito se empleo un tren de muestreo que consistió de dos tubos burbujeadores conectados en serie a un rotámetro y a una bomba de succión. Una vez colectada la muestra, en donde el formaldehído fue absorbido con una eficiencia del 99%, esta era llevada inmediatamente al laboratorio para su análisis por técnicas espectrofotométricas. Conocido el flujo de muestreo y la concentración de formaldehído colectada en la solución absorbente se determina su concentración promedio para el período de muestreo (Lodge 1989).

#### IV.4.1.4 MONOXIDO DE CARBONO

El método utilizado tiene como base la propiedad de absorción de radiación infrarroja del monóxido de carbono aplicada a un instrumento conocido como fotómetro infrarrojo no dispersivo (NDIR). La radiación infrarroja es producida en dos haces dentro dos tubos, estando dirigidos a dos celdas detectoras similares, una de referencia y la otra detectora. Uno de los tubos contiene un gas de referencia que no absorbe radiación infrarroja y el otro admite aire de muestreo en forma continua. La diferencia en la detección será consecuencia de la diferencia de absorción de la radiación infrarroja en ambos, la cual es registrada por un sistema térmico-electrónico que traduce esta señal en pulsaciones eléctricas que son amplificadas y convertidas a concentraciones de monóxido de carbono en la muestra de aire continuamente alimentada. El equipo requiere calibración con gases específicos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). El monitoreo es continuo y se obtiene el registro de las concentraciones en un graficador que imprime una marca cada 15 segundos. Este método es considerado por la EPA como método de referencia para la determinación de monóxido de carbono (EPA 1983b). La corriente de aire alimentada al analizador no sufre ninguna transformación química, por lo que en esta forma es enviado fuera del instrumento sin requerir ningún sistema purificador. El equipo utilizado fue el analizador Beckman 650.

#### IV.4.1.5. OZONO

El método utilizado se basa en el principio de la quimicoluminiscencia de una molécula activada energeticamente. El equipo consiste básicamente de una cámara de reacción a condiciones controladas, en donde se mezclan ozono del aire ambiente con etileno que es suministrado continuamente a la cámara. Una vez en la cámara se produce una reacción de quimicoluminiscencia la cual da lugar a

formaldehído en su estado excitado. Posteriormente al retornar esta molécula de formaldehído a su estado estable emite energía en forma de fotones o luz, la cual es detectada por un tubo fotomultiplicador incluido en el equipo. La emisión detectada es traducida electrónicamente y amplificada de tal forma que se obtiene una señal que es registrada continuamente en un graficador con una respuesta inmediata (pocos segundos). El equipo requiere calibración en el laboratorio mediante la generación de una atmósfera con ozono artificial en condiciones controladas. La concentración artificial es medida con un método específico de yoduro de potasio que emplea un burbujeo continuo en solución absorbente y se correlaciona con la lectura y detección del equipo automático. Este método es reconocido por la EPA como método de referencia (EPA 1983b). El equipo utilizado fue el analizador Beckman 950.

#### IV.4.1.6. BÍOXIDO DE CARBONO

Este compuesto fue determinado por medio de tubos detectores, los cuales constituyen un método semicuantitativo para su estimación en el aire. A través de estos dispositivos se hace pasar un volumen conocido de aire, por medio de una bomba de succión. Su lectura se basa en la reacción colorida del bióxido de carbono con azul de timol y dietanol amina ocasionando la formación de carbonato de dietanol amina y un cambio en la estructura del indicador ácido-base de timol. El cambio de color será de azul a amarillo pálido y proporcional a la cantidad de bióxido de carbono en el aire (OSHA, 1990).

#### IV.4.1.7. TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Se utilizó la metodología y equipo mecánico recomendado por la Organización Mundial Meteorológica que consiste en un higrotermografo de cabello calibrado contra un psicrómetro estandar. En este instrumento se obtiene un registro continuo y gráfico de los dos parámetros: humedad relativa y temperatura simultáneamente, lo cual permite apreciar el patrón de comportamiento con el tiempo.

#### IV.4.2. ESTRATEGIA DE MEDICION

Al realizar un estudio sobre la evaluación de la calidad del aire en interiores es necesario para la obtención de muestras representativas tomar en cuenta que los niveles de contaminantes pueden variar dependiendo de la hora del día o del día de la semana, de la calidad del aire exterior y de la presencia de los contaminantes, tanto en tipo como en cantidad, que estará influenciada por características del edificio tales como: edad, altura, tipo de sistema de ventilación, materiales de estructura, actividades, etc.

Para tomar en cuenta todos estos factores, cuyo efecto nos puede llevar a resultados diferentes, las mediciones se realizaron durante todos los días de la semana y para el caso de los contaminantes en que fue posible se monitoreo continuamente durante todo el día. Esto último se realizó para partículas como coeficiente de suciedad a intervalos de 2 horas mientras que para ozono y monóxido de carbono de manera automática. Los parámetros de humedad relativa y temperatura también se determinaron continuamente. En las mediciones que no fueron continuas (partículas inhalables y formaldehído) se realizaron muestreos diarios de 8 horas para cubrir el período de labores que es de 9 a 17 horas.

Se realizaron mediciones instantaneas (15 minutos) de dióxido de carbono con el objetivo de apoyar la información generada por los otros parámetros y determinar si existía un buen intercambio de aire en el interior del edificio, llevándose a cabo dos mediciones por sitio de muestreo, una en un día laborable y la otra en un día no laborable.

Como sitios de muestreo se consideró a cada uno de los pisos del edificio además de que por motivos estructurales, ya que se tenían separaciones, se consideraron 2 sitios de muestreo en la planta baja, primero y sexto pisos. Con un total de 10 sitios de muestreo distribuidos en el interior del edificio, además de la azotea, se llevó a cabo la evaluación de la calidad del aire durante una semana completa en cada sitio. La ubicación en cada uno de los pisos fue determinada con base en factores técnicos como: obtención de muestras representativas, localización adecuada de entradas de aire a los equipos de monitoreo y muestreo, disponibilidad de energía eléctrica, colocación de equipos sin obstrucción a las actividades normales de la oficina. Un esquema general del montaje de los equipos se indica en la Figura 5.

Como sitio de control se seleccionó la azotea ya que es un lugar representativo del exterior además de encontrarse aquí las tomas de entrada de aire del sistema de aire acondicionado.

- 1.- TANQUE DE ETILENO GRADO O.P. PARA ANALIZADOR DE OZONO
- 2.- ANALIZADOR AUTOMATICO DE OZONO BECKMAN 950
- 3.- TRAMPA DE CARBON PARA GASES RESIDUALES DEL BECKMAN 950
- 4.- ANALIZADOR AUTOMATICO DE MONOXIDO DE CARBONO BECKMAN 650
- 5.- TANQUE DE GASES DE CALIBRACION PARA EL BECKMAN 650
- 6.- GRAFICADOR BECKMAN
- 7.- MUESTREADOR DE PARTICULAS INHALABLES ANDERSEN 2000
- 8.- BOMBA DE SUCCION DEL ANDERSEN 2000
- 9.- HIGROTERMOGRAFO ROSSBACH
- 10.- TOMA DE MUESTRA MULTIPLE
- 11.- TREN DE MUESTREO DE FORMALDEHIDO
- 12.- BOMBA DE SUCCION PARA EL MUESTREO DE FORMALDEHIDO
- 13.- BOMBA DE SUCCION PARA EL MUESTREADOR DE CINTA
- 14.- MUESTREADOR DE CINTA PARA PARTICULAS

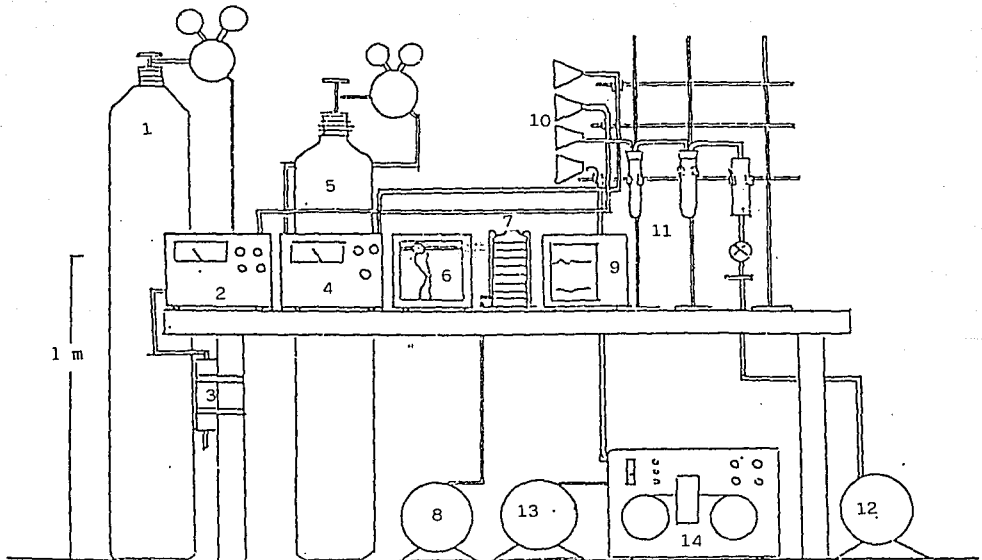


FIGURA 5 ESQUEMA GENERAL DEL MONTAJE DE LOS EQUIPOS

Una de las limitaciones más importantes en la realización de este estudio se debió a la utilización de un sólo equipo de muestreo por contaminante, por lo cual no se pudieron llevar a cabo las mediciones en los diferentes sitios simultáneamente sino que semanalmente se cambiaron de sitio estos equipos. En total se estudiaron 11 sitios que fueron:

- Planta Baja Sitio A
- Planta Baja Sitio B
- Primer Piso Sitio A
- Primer Piso Sitio B
- Segundo Piso
- Tercer Piso
- Cuarto Piso
- Quinto Piso
- Sexto Piso Sitio A
- Sexto Piso Sitio B
- Azotea (Sitio de Control)

Lo anterior dió lugar a un estudio de aproximadamente 12 semanas, ya que en la azotea se muestreo más de una semana con el fin de obtener un mayor número de muestras. Los contaminantes y parámetros determinados, su periodo de muestreo, así como su principio de medición se indican en la Tabla VIII.

La localización de los sitios de muestreo para cada uno de los pisos se presenta en las figuras 6 a 12.



TABLA VIII.-MEDICIONES REALIZADAS EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO

PARAMETRO	PERIODO DE MUESTREO	METODOLOGIA DE MUESTREO
PARTICULAS INHALABLES	8 HORAS (9-17 HORAS)	MUESTREO: IMPACTADOR DE CASCADA (ANDERSEN) ANALISIS: GRAVIMETRIA
FORMALDEHIDO	8 HORAS (9-17 HORAS)	MUESTREO: TREN BURBU- JEADOR ANALISIS: ESPECTROFOTO- METRIA
COEFICIENTE DE SUCIEDAD (PARTICULAS)	CONTINUO CON INTERVALOS DE 2 HORAS	MUESTREO: FILTRACION EN CINTA ANALISIS: TRANSMITANCIA
OZONO	CONTINUO	QUIMICOLUMINISCENCIA
MONOXIDO DE CARBONO	CONTINUO	INFRAROJO
HUMEDAD RELATIVA	CONTINUO	HIDRATACION DE CABELLO
TEMPERATURA	CONTINUO	TERMOPAR

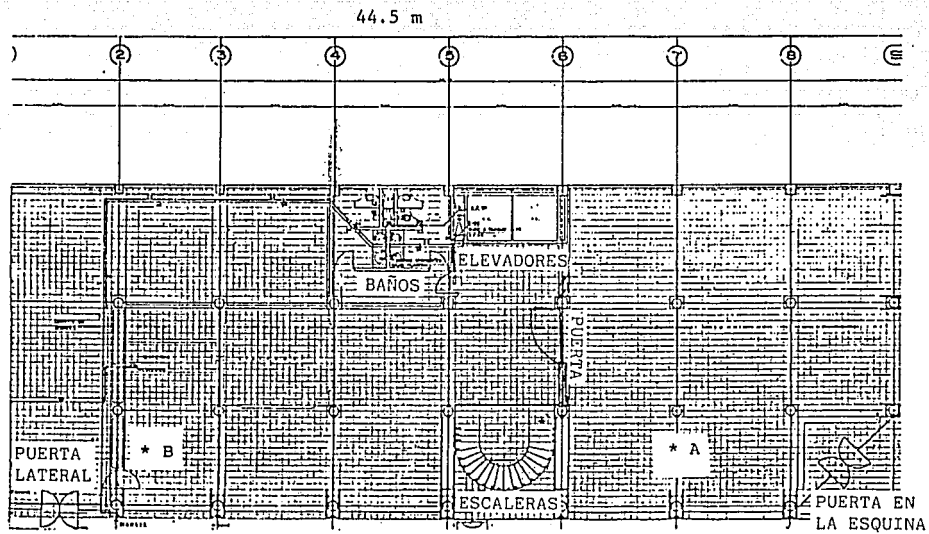


Figura 6.- Localización de los sitios de muestreo en la Planta Baja.

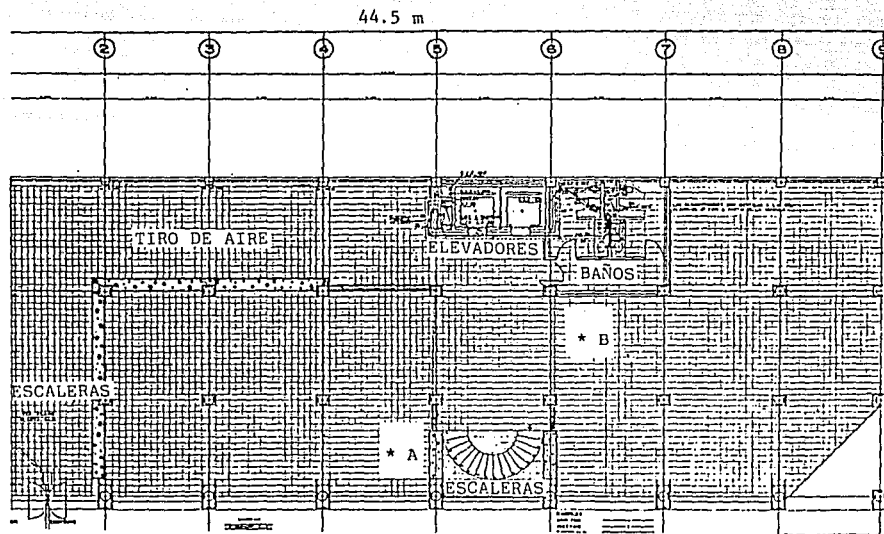


Figura 7.- Localización de los sitios de muestreo en el Primer Piso.

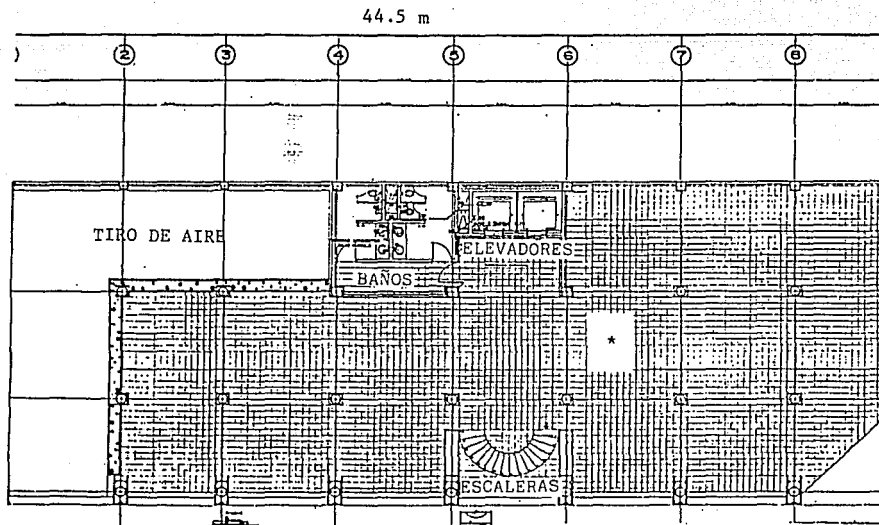


Figura 8.- Localización del sitio de muestreo en el Segundo Piso.

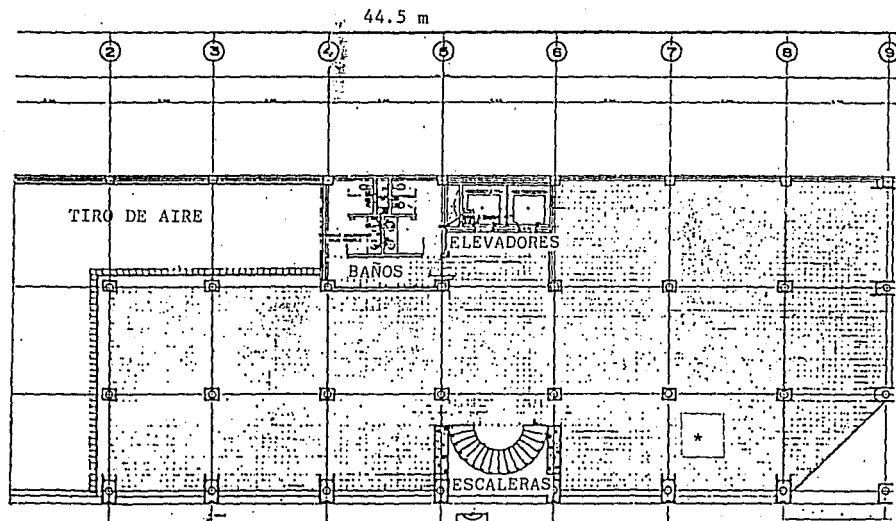
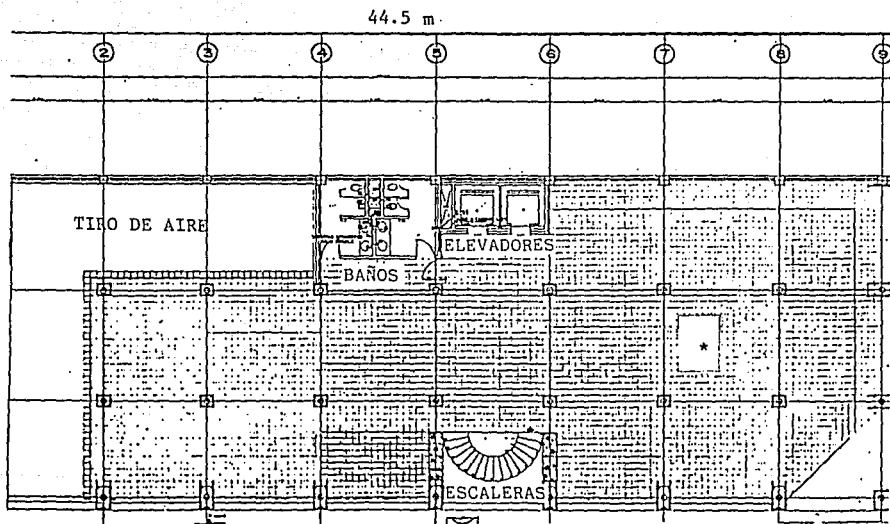
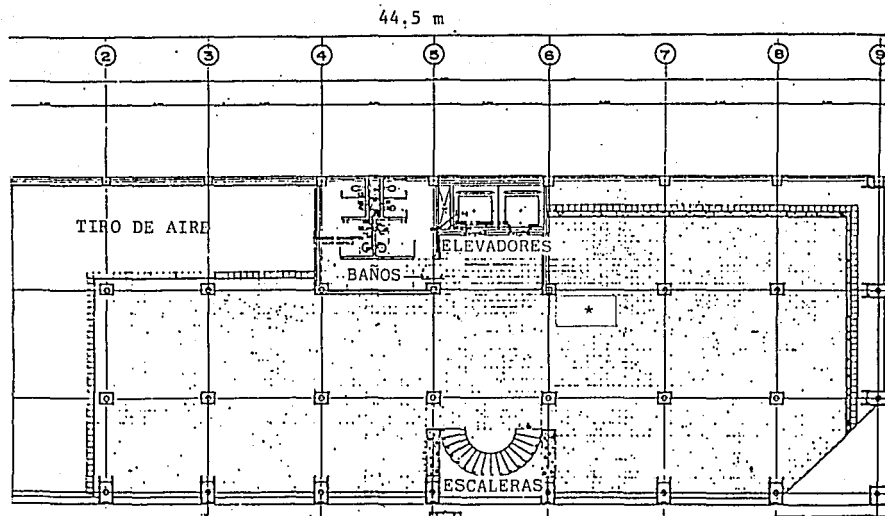


Figura 9.- Localización del sitio de muestreo en el Tercer Piso.



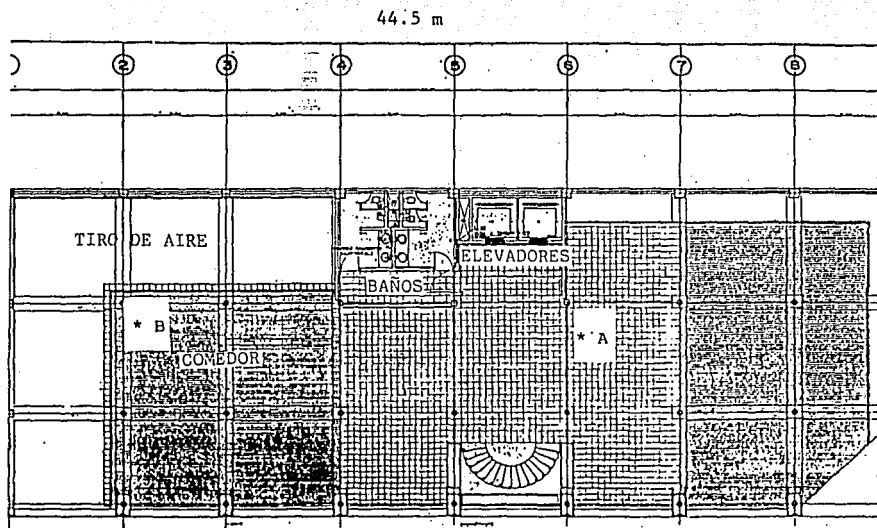
\* = Sitio de muestreo.

Figura 10. Localización del sitio de muestreo en el Cuarto Piso.



\* = Sitio de muestreo.

Figura 11.-Localización del sitio de muestreo en el Quinto Piso.



\* = Sitios de muestreo.

Figura 12. Localización de los sitios de muestreo en el Sexto Piso.



## IV.5 ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se llevó a cabo primeramente para cada uno de los pisos estudiados y posteriormente se realizó un análisis general. Los resultados de cada uno de los diferentes parámetros determinados para cada piso tanto durante días laborales como no laborables, se presentan en el apéndice A, mientras que en esta sección, dentro del análisis general de resultados, se indica el comportamiento así como los niveles encontrados para los contaminantes de interés en el edificio.

### IV.5.1. ANALISIS DE RESULTADOS POR PISOS

#### IV.5.1.1 PLANTA BAJA

Las mediciones de monóxido de carbono mostraron el aumento de este contaminante en los días laborables y durante las horas de trabajo teniendo un máximo entre las 8 y 11 de la mañana, lo cual indica el impacto de las actividades llevadas a cabo tanto en el edificio como en el exterior (Figuras A-1 y A-2). En todos los casos, a excepción de los días no laborables, se rebasaron las normas de calidad del aire para este contaminante (Figuras A-3 y A-4).

Aunque en los dos sitios de muestreo localizados en la planta baja se encontraron niveles de monóxido de carbono por arriba de las normas de calidad del aire recomendadas, una calidad del aire más deteriorada se presentó en el sitio A situado en el área comunicada directamente con el exterior por medio de la puerta de acceso ubicada en la esquina, siendo este factor muy importante por la contribución del monóxido de carbono proveniente del exterior, ya que este contaminante es emitido por las fuentes móviles y el edificio se encuentra en una zona de gran tráfico vehicular.

El coeficiente de suciedad muestra un comportamiento similar al del monóxido de carbono en cuanto a su variación durante el día y mayor contaminación en días laborables (Figuras A-5 y A-6). Los niveles de partículas inhalables son elevados en comparación con las normas recomendadas, no obstante no se pueden aplicar estrictamente ya que no corresponden al mismo periodo de los muestreos (Figuras A-7 y A-8).

Los niveles de ozono detectados, en ningún momento estuvieron por arriba de las normas de calidad del aire recomendadas pero se volvió a observar que existe mayor contaminación en el sitio A, debido a los altos niveles de ozono que existen en el exterior, señalando a este contaminante como un indicador de la contribución al ambiente interior de los contaminantes generados en el exterior (Figuras A-9 y A-10). Lo anterior también se manifestó, ya que el sábado y el domingo las concentraciones fueron menores. Sin embargo en el sitio B se observó el sábado, una mayor concentración a las encontradas en los otros días, lo cual puede deberse a que el ozono es un gas muy reactivo, y fácilmente se destruye en el interior. Esta destrucción se favorece con el choque con las paredes aunado al movimiento del aire, disminuyendo la intensidad de estos efectos durante los días no laborables ya que se cierran las puertas, y debido a lo cual se explica la presencia de este valor de la concentración de ozono el sábado.

Las concentraciones detectadas de formaldehído no estuvieron por arriba de los niveles recomendados (1000 ppb) y no se observó una clara diferencia entre días laborables y no laborables (Figuras A-11 y A-12), ni entre sitio A y B., ya que este contaminante no es generado de manera apreciable por las actividades de los ocupantes si no por los materiales de construcción presentes en ambos sitios.

Las mediciones registradas de humedad relativa y temperatura se mostraron casi constantes a no ser por la humedad relativa en el sitio A, debido a que la puerta de acceso comunicada con el exterior permaneció abierta durante la horas de trabajo, ocasionando este intercambio de aire una mayor variación. Aunque la humedad relativa se encontró en un rango aceptable, la temperatura coloca al sitio A en un rango de confort "ligeramente frío" de acuerdo a la ASHRAE, mientras que en el sitio B se encontró una condición "confortable". Es importante hacer notar que el área que presentó una condición "ligeramente fría" es la que tiene comunicación directa con la calle por medio del acceso ya mencionado (Figuras de la A-13 a la A-16).

El bióxido de carbono estuvo presente en niveles denominados "normales en el interior" de acuerdo al AESPW (Arquitectural & Engineering Services Public Works). Las mediciones de bióxido de carbono para todos los pisos se presentan en la figura 15.

#### IV.5.1.2 PRIMER PISO

Las concentraciones de monóxido de carbono aumentaron durante las horas de trabajo encontrándose un máximo entre las 8 y 11 de la mañana, así como mayores niveles de este contaminante en los días laborables (Figuras A-17 y A-18). En el sitio A se tuvo menor contaminación por monóxido de carbono en comparación con el sitio B de este mismo piso. En este último sitio se rebasó la norma de calidad del aire de los Estados Unidos en todos los días laborables, mientras que en el sitio A esto ocurrió el 40% de los días laborables muestreados. En cuanto a la norma mexicana de calidad del aire solamente se rebasó un día y fue en el sitio B (Figuras A-19 y A-20). Aunque en concentraciones menores al máximo de la mañana también se observa un pico de 18 a 21 horas debido al incremento del tráfico vehicular a estas horas.

El coeficiente de suciedad mostró la misma variación durante el día que el monóxido de carbono, así como una contaminación máxima mayor en el sitio B en los días laborables (Figuras A-21 y A-22). Los niveles de partículas inhalables también fueron mayores en el sitio B (Figuras A-23 y A-24).

Las concentraciones de ozono en este piso estuvieron muy por debajo de las normas de calidad del aire, por lo que no fue de esperarse un efecto negativo en la salud por este contaminante (Figuras A-25 y A-26). La cantidad mínima de ozono que se presentó se atribuye al aire exterior que ingresó al edificio ya sea por las puertas abiertas o a través del sistema de ventilación que operaba con entrada directa de aire sin recirculación.

Las concentraciones de formaldehído en ninguno de los días muestreados rebazaron sus niveles recomendados (Figuras A-27 y A-28). De los resultados obtenidos se observan valores mayores en algunos días no laborables, lo cual es de esperarse ya que la principal fuente

interior de formaldehído no es producto de la actividad humana sino de materiales de construcción a base de resina urea-formaladehído, y durante los fines de semana el intercambio de aire disminuye, ya que se cierran las puertas, por lo cual hay una menor dilución.

Respecto a los parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa), la temperatura se incrementaba a partir de las 9 de la mañana y decrecía hasta la noche alrededor de las 20 horas, mientras que la humedad relativa se comporto de manera opuesta disminuyendo en la mañana y aumentando por la noche. En el sitio A se tiene una condición de confort "confortable", mientras que en el sitio B se encontró entre "ligeramente frio" y "confortable", de acuerdo con la ASHRAE (Figuras A-29 y A-32).

El bióxido de carbono estuvo presente en niveles denominados "normales en el interior" de acuerdo al AESPW (Figura 15).

#### IV.5.1.3 SEGUNDO PISO

Las normas de calidad del aire para monóxido de carbono no se llegaron a rebasar durante los días en que se llevaron a cabo los monitoreos (Figuras A-33 y A-34). El coeficiente de suciedad presentó un máximo entre las 8 y 11 de la mañana (Figura A-35). Las partículas inhalables presentaron concentraciones altas aún durante días no laborables. Esto se debió en gran medida al desempeño de actividades de mantenimiento y limpieza precisamente en fines de semana (Figura A-36), tales como: pulido de pisos, cambios de alfombra y movimiento de muebles.

Las concentraciones detectadas de ozono en este piso fueron mínimas y su procedencia fue del exterior, ya sea por el tiro de aire que va de la planta baja hasta el último piso o por el sistema de ventilación (Figura A-37).

Las concentraciones de formaldehído se encontraron por debajo de sus niveles recomendados y su presencia se debió a materiales conglomerados a base de resina urea-formaladehído (Figura A-38).

La temperatura ambiente aumentaba ligeramente durante el día y la humedad relativa disminuía también ligeramente, siendo el comportamiento de ambos parámetros practicamente constante. La condición de confort encontrada en este piso de acuerdo a la ASHRAE fue "ligeramente fria" (Figuras A-39 y A-40).

Una vez mas el bióxido de carbono estuvo presente en niveles "normales en el interior de acuerdo al AESPW (figura 15).

#### IV.5.1.4 TERCER PISO

El monóxido de carbono y el coeficiente de suciedad alcanzaron sus máximos niveles entre las 8 y 11 de la mañana, y solo se rebasó una vez la norma de calidad del aire de los Estados Unidos, mientras que la norma mexicana de calidad del aire no se rebasó. (Figuras de la A-41 a la A-43).

Los valores encontrados de partículas inhalables son altos y se presentan también durante los fines de semana debido a las diferentes actividades de mantenimiento y limpieza que se llevaron a cabo en estos días. Algunos valores encontrados para partículas inhalables son

realmente exagerados por lo que es muy posible que hubiesen sufrido interferencias que contaminaran las muestras, por lo cual desafortunadamente no representan la calidad del aire real (Figura A-44).

Los niveles de ozono al igual que los de formaldehído no representaron problema alguno ya que se encontraron por debajo de sus niveles recomendados (Figura A-45 y A-46).

La temperatura ambiente y la humedad relativa variaron muy poco durante el día, incrementándose la temperatura en la mañana y disminuyendo en la noche, en tanto que la humedad relativa vario en forma opuesta. La condición de confort de acuerdo a la ASHRAE fue "ligeramente fria" (Figuras A-47 y A-48).

El bióxido de carbono estuvo durante el día laborable medido en un nivel indicado como "posibles problemas" (900 ppm) lo cual puede deberse al número de ocupantes en este piso (Figura 15).

#### IV.5.1.5 CUARTO PISO

El comportamiento del monóxido de carbono y del coeficiente de suciedad fue similar, logrando sus máximos niveles entre las 8 y 11 de la mañana. En ninguna ocasión durante los días de estudio en este piso fueron rebazadas las normas de calidad del aire para monóxido de carbono (Figuras de la A-49 a la A-51).

Los niveles de partículas inhalables encontrados fueron demasiado elevados por lo cual es posible que las muestras hubiesen sufrido contaminación (Figura A-52).

Las concentraciones de ozono y de formaldehído se encontraron por debajo de sus niveles recomendados por lo cual no representaron un problema (Figuras A-53 y A-54). Para el caso del ozono, al igual que en la planta baja sitio B, nuevamente se detecto una mayor concentración durante el fin de semana debido a un menor movimiento del aire.

La temperatura ambiente aumentaba en el día a partir de las 9 de la mañana y decrecia por la noche. La humedad relativa se comporto de manera contraria a la temperatura. La temperatura ambiente sobre todo en la mañana es menor a lo que señala la ASHRAE como un nivel de confort "ligeramente frio" (Figuras A-55 y A-56).

El bióxido de carbono estuvo en niveles "normales en el interior" de acuerdo al AESPW, y fue similar a los valores obtenidos en la planta baja, primero y segundo piso.

#### IV.5.1.6 QUINTO PISO

Las concentraciones del monóxido de carbono y del coeficiente de suciedad mostraron un incremento a partir de las 7 de la mañana alcanzando un máximo entre 8 y 11 a.m., y manifestando ligeramente mayores niveles en los días laborables. Las normas de calidad del aire para monóxido de carbono no se rebasaron en ninguno de los días muestreados en este piso (Figuras de la A-57 a la A-59).

En el caso de las partículas existieron otras actividades, sobre todo durante los fines de semana, que también contribuyeron a elevar sus concentraciones tales como mantenimiento y limpieza, no obstante algunos valores fueron demasiado elevados (Figura A-60).

Las concentraciones de ozono y formaldehído encontradas en este piso fueron bajas y no rebasaron sus niveles recomendados (Figuras A-61 y A-62). Nuevamente se encontro para el ozono un valor de concentración mayor durante el fin de semana debido a un menor movimiento del aire en estos días.

La temperatura ambiente y la humedad relativa variaron muy poco durante el día como en pisos inferiores y de acuerdo a la ASHRAE se tuvo una condición de confort "ligeramente fria" (Figuras A-63 y A-64).

El bióxido de carbono estuvo durante el día laborable medido por arriba del "límite que no se debe exceder" de acuerdo al AESPW, presentando valores superiores a los de cualquier otro piso (Figura 15). Este piso es uno de los que presentan mas ocupantes y es el que manifesto un mayor número de casos con molestias.

#### IV.5.1.7 SEXTO PISO

Al igual que en los otros pisos, tanto el monóxido de carbono como el coeficiente de suciedad presentaron la misma variación durante el día, mostrando un máximo en la mañana (8-11 a.m.). Se tuvieron niveles un poco más altos de monóxido de carbono tanto en los días laborables como en periodos de trabajo (Figuras A-65 y A-66), sin embargo para el coeficiente de suciedad esto se observo en el sitio B pero no en el sitio A en donde los niveles fueron similares para los períodos laborables y no laborables (Figuras 69 y 70). Las concentraciones de monóxido de carbono no rebasaron sus normas de calidad del aire en el sitio A, que se encontraba localizado en el área de oficinas, mientras que en el sitio B la norma de calidad del aire de los Estados Unidos se rebasó en un 50% de los días laborables muestreados (Figuras A-67 y A-68). El sitio B se localizó en el comedor junto al tiro de aire que comunica al edificio con la puerta de acceso a la calle, y aunque no presentó una población constante, las diferentes actividades propias del lugar tales como reuniones, desayunos, etc., ocasionaron mayores niveles de contaminación por el consumo de cigarrillos en comparación con el sitio A. Lo anterior también se observa en una mayor cantidad de partículas inhalables en el sitio B (Figuras A-71 y A-72).

Al presentarse, en el sitio B, mayores niveles de monóxido de carbono y partículas inhalables en comparación con el sitio A, aún en días y horas no laborables, se concluye que no solamente las diferentes actividades en estas dos áreas nos llevaron a esta diferencia en la calidad del aire. Esto fue debido al tiro de aire que comunica a la calle, a través del cual ciertos contaminantes del exterior se introducen al edificio adicionandose a los generados en el interior, por lo cual resultó una mayor contaminación del aire en esta sección (Sitio B).

Existieron mayores niveles de ozono en el área ubicada junto al tiro de aire y se debió a que practicamente todo el ozono presente en el interior del edificio provino del exterior y fue esa área la que tuvo mayor influencia, no obstante, tales niveles no se encontraron por

arriba de las normas de calidad del aire recomendadas (Figuras A-73 y A-74).

Las concentraciones de formaldehído fueron mínimas y dentro del mismo rango en los dos sitios de muestreo en este piso. Su presencia aún en días no laborables se debió a que las emisiones de este contaminante son ocasionadas principalmente por ciertos materiales fabricados a base de resina urea-formaldehído y no por las actividades propias del edificio (Figuras A-75 y A-76).

La temperatura y la humedad relativa presentaron una mayor variación en este piso, en comparación con los otros pisos estudiados, para ambos sitios de muestreo. El rango de confort de acuerdo a la ASHRAE varió durante el día entre "ligeramente frío" por la mañana hasta antes del medio día y "confortable" el resto del día (Figuras de la A-77 a la A-80). Lo anterior se debió al intercambio directo de aire con el exterior, que existe entre este piso y la azotea, a través de las persianas, que como se señaló con anterioridad, se encuentran localizadas en la parte alta del edificio.

El bióxido de carbono estuvo presente en niveles "normales en el interior" de acuerdo al AESPW, (Figura 15).

#### IV.5.1.8 AZOTEA

Las concentraciones de monóxido de carbono durante el día, aunque mostraron un incremento durante las horas de actividad en el exterior (6-22 horas), no se presentó un máximo tan marcado como en el interior del edificio, además de rebasar su norma de calidad del aire de los Estados Unidos en solamente dos días de los 9 laborables muestreados. En los días no laborables se presentaron menores niveles de este contaminante y en los monitoreos realizados se apreció lo anterior no solamente en fines de semana, sino también durante el Viernes y Jueves Santos que fueron días feriados donde la actividad vehicular disminuyó (Figuras A-81 y A-82). La evaluación de la calidad del aire en un punto exterior, como es la azotea, trajo como consecuencia para el caso de monóxido de carbono que no se detectaron valores tan altos como sería de esperarse si estas mediciones se hubiesen realizado a nivel de calle, por ser este contaminante emitido por los vehículos. Lo anterior también dio lugar a que tampoco se observara el comportamiento típico de este contaminante en el exterior, ya que no se detectó un segundo pico en la tarde. La importancia de considerar el muestreo en la azotea radicó en que, precisamente era en este sitio donde se encontraban las tomas de entrada de aire para el sistema de ventilación.

La variación del coeficiente de suciedad durante el día fue similar a la de los sitios en el interior del edificio mostrando un máximo por la mañana debido al efecto de las actividades (Figura A-83).

Las partículas inhalables presentaron concentraciones menores en los días no laborables así como niveles mucho menores que los encontrados en el interior del edificio (Figura A-84).

Las concentraciones de ozono determinadas en la azotea fueron mayores a las encontradas en el interior del edificio. En la azotea se rebasó la norma para este contaminante en un 80% de los días laborables y en un 50% de los días no laborables manifestándose la influencia de las

actividades urbanas sobre los niveles de ozono así como la mayor contribución de la contaminación atmosférica exterior (Figura A-85).

Las concentraciones de formaldehído fueron menores a las encontradas en el interior, lo cual indica que su fuente principal es el material de construcción y mobiliario del interior (Figura A-86).

La temperatura ambiente alcanzó su menor valor entre 5 y 6 de la mañana incrementándose considerablemente a partir de las 7 a.m. para lograr su máximo al medio día, disminuyendo después de las 14 hrs. El comportamiento de la humedad relativa es completamente opuesto al de la temperatura. Como era de esperarse la variación de los valores de estos parámetros durante el día es bastante grande ya que no están controlados (Figuras A-87 y A-88).

#### IV.5.2. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS

El comportamiento del monóxido de carbono en todos los pisos mostró un incremento a partir de las 7 de la mañana el cual alcanza un valor máximo de concentración entre las 9 y las 10 a.m., decreciendo por la tarde y aumentando ligeramente entre las 18 y 20 hrs. en el interior y días laborables; su comportamiento promedio se presenta en la Figura 13.

Las concentraciones de monóxido de carbono encontradas en el interior del edificio estuvieron influenciadas en gran medida por el número de cigarrillos consumidos, adicionalmente a la contribución del exterior la cual fue disminuyendo conforme se asciende a los diferentes pisos. Lo anterior se pudo apreciar en el tercer piso, donde se presentó similar cantidad de cigarrillos consumidos que en el cuarto piso, pero se tuvo una mayor dilución en este último piso por encontrarse en un nivel superior, de ahí que los valores detectados de monóxido de carbono fueran mayores en el tercero que en el cuarto piso. La mayor influencia del exterior sobre los niveles de monóxido de carbono se presentó en la planta baja y en el primer piso a través de las puertas de acceso a la calle, rebasándose en varias ocasiones las normas de calidad del aire recomendadas (Tabla IX). Este efecto de disminución de la contribución exterior con respecto a la altura para el monóxido de carbono también se manifestó en la azotea, por no detectarse el comportamiento típico de este contaminante en el exterior, al no encontrarse un segundo pico en la tarde.

Las mediciones del coeficiente de suciedad señalaron la variación de partículas durante el día, encontrándose un comportamiento similar al del monóxido de carbono en cuanto a horas de mayor contaminación, así como una calidad del aire ligeramente más deteriorada en los días laborables (Figura 14).

Las concentraciones de partículas inhalables encontradas en el interior del edificio fueron bastante altas en comparación con las encontradas en la azotea, por lo que fue de esperarse una contribución importante por fuentes interiores. Por los valores obtenidos, aún en días no laborables se señalan las actividades de mantenimiento y limpieza como fuentes generadoras de partículas en fines de semana, principalmente, mientras que en días laborables fue el consumo de cigarrillos la causa más importante de la contaminación

por partículas inhalables. Algunos resultados fueron exagerados por lo cual es factible que se contaminaran las muestras y las concentraciones encontradas no representen la calidad real del aire (Tabla X).

En lo que respecta a ozono, la calidad del aire fue satisfactoria en todos los pisos, ya que los valores encontrados estuvieron por abajo de sus normas de calidad del aire (Tabla XI). La presencia del ozono en el interior del edificio fue ocasionada por la entrada del aire del exterior, ya sea por las puertas de acceso y en menor grado por el sistema de ventilación. Los valores encontrados en el interior fueron mucho menores a los encontrados en el exterior, ya que en el interior el ozono tiene una mayor facilidad para su destrucción como es el choque con paredes. Además esta destrucción se favorece con el movimiento del aire a través del edificio el cual disminuye durante los días no laborables ya que se cierran las puertas, y es por esta razón que en estos días se llegaron a determinar algunos niveles mayores de ozono.

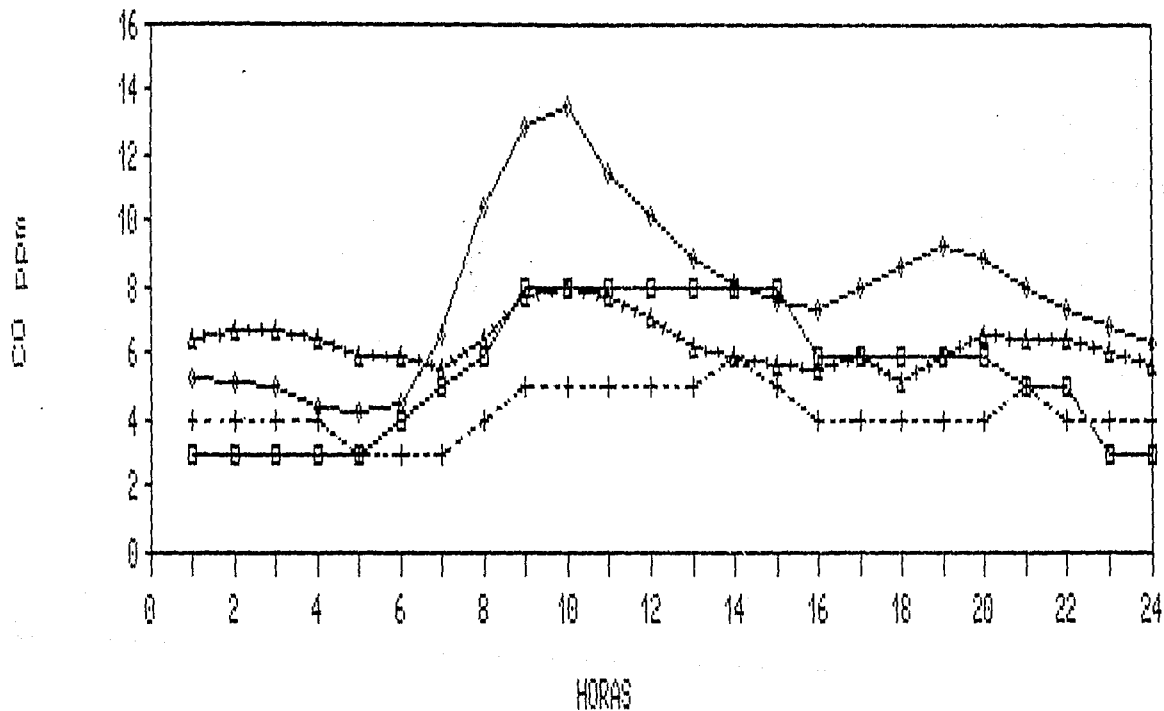
El formaldehído estuvo presente en niveles "normales en el interior" en todos los sitios estudiados (Tabla XII) y fue generado, principalmente, por paneles de conglomerado, plafones, muebles y alfombras fabricadas con resinas a base de urea-formaldehído que estuvieron presentes en el interior del edificio. Al encontrarse concentraciones mayores de este contaminante en los pisos inferiores, esto se puede atribuir a la contribución del exterior ya que el formaldehído es también emitido por los vehículos.

Las mediciones de bióxido de carbono realizadas en cada uno de los sitios de muestreo durante la hora de mayor contaminación por monóxido de carbono (9-10 a.m.) fueron mínimas como para ocasionar un efecto negativo en los ocupantes del edificio al mismo tiempo que indicaron una buena circulación del aire en todos los sitios a excepción del tercero y quinto pisos (Figura 15). En el tercer piso se obtuvo una concentración que señala "posibles problemas" mientras que en el quinto piso se rebazó el "límite que no se debe exceder" de acuerdo a la "Arquitectural & Engineering Services Public Works" de Canadá (Tabla IV) lo anterior se debió principalmente a la actividad metabólica propia de los ocupantes y al tabaquismo. Estas mediciones de bióxido de carbono solo tuvieron como objetivo apoyar la información generada para los otros parámetros, y en ningún momento determinar su comportamiento en el edificio así como su variación con el tiempo, ya que únicamente se hicieron 2 mediciones por sitio de muestreo. Por esta razón el bióxido de carbono no se incluyó posteriormente en el análisis estadístico.

Las mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa mostraron en casi todos los pisos un índice de confort entre "ligeramente frío" y "confortable" de acuerdo a la ASHRAE.



CO CONCENTRACIONES  
HORARIAS PROMEDIO



-□ DIAS LAB. EXT. --+ DIAS NO LAB. EXT. -◇ DIAS LAB. INT. +△ DIAS NO LAB. INT.

Figura 13.- Comportamiento del monóxido de carbono durante el día.

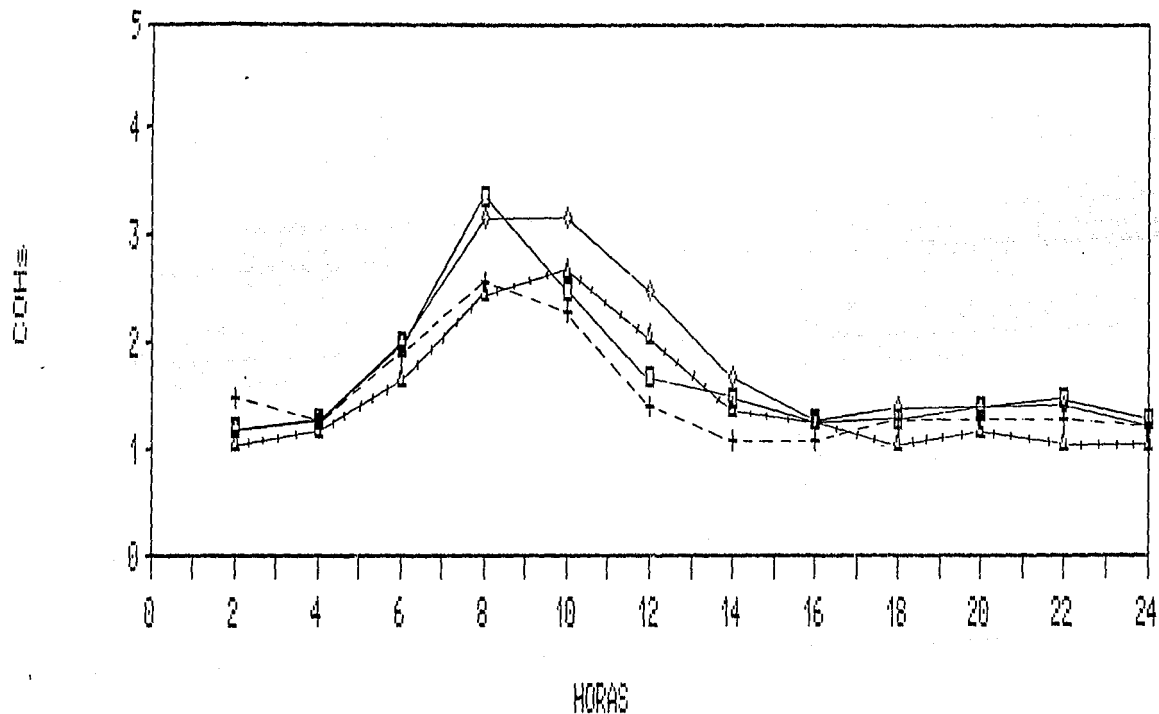
TABLA IX.- NIVELES ENCONTRADOS DE MONOXIDO DE CARBONO  
EN TODOS LOS SITIOS DE MUESTREO.

SITIO DE MUESTREO	1		2		3	
	ppm		No. DIAS		No. DIAS	
	DL	DNL	DL	DNL	DL	DNL
PLANTA BAJA A	17.73	11.65	4	0	4	2
PLANTA BAJA B	14.64	9.50	5	0	5	2
PRIMER PISO A	8.90	6.10	2	0	5	2
PRIMER PISO B	12.65	7.30	4	0	4	1
SEGUNDO PISO	6.94	6.15	0	0	5	2
TERCER PISO	7.75	3.85	1	0	6	2
CUARTO PISO	6.34	3.95	0	0	5	2
QUINTO PISO	7.65	3.80	0	0	4	2
SEXTO PISO A	5.68	4.65	0	0	5	2
SEXTO PISO B	10.00	8.07	3	0	3	3
AZOTEA	7.61	4.90	2	0	9	6

- 1.- Concentraciones promedio de los muestreos de 8 horas.
- 2.- Número de días que se rebaso la norma mexicana de calidad del aire (Primer renglón) y la norma de calidad del aire de los Estados Unidos (Segundo renglón).
- 3.- Número de días muestreados.

DL: Días laborables, DNL: Días no laborables.

COEFICIENTE DE SUCIEDAD  
PROMEDIO



—□ DIAS LAB. EXT. —+ DIAS NO LAB. EXT. —◇ DIAS LAB. INT. —x DIAS NO LAB. INT.

Figura 14- Comportamiento de las partículas como coeficiente de suciedad durante el día.

TABLA X.- NIVELES ENCONTRADOS DE PARTICULAS INHALABLES  
EN TODOS LOS SITIOS DE MUESTREO.

SITIO DE MUESTREO	1		2		3	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		No. DIAS		No. DIAS	
	DL	DNL	DL	DNL	DL	DNL
PLANTA BAJA A	629	272	6	1	6	2
PLANTA BAJA B	1,336	721	7	2	7	3
PRIMER PISO A	326	838	4	2	5	2
PRIMER PISO B	864	154	4	2	6	2
SEGUNDO PISO	668	575	5	3	5	4
TERCER PISO	2,269	2,840	5	2	5	2
CUARTO PISO	2,860	3,240	4	2	4	2
QUINTO PISO	1,365	1,891	5	2	5	2
SEXTO PISO A	295	489	4	2	6	2
SEXTO PISO B	890	1,460	5	2	5	2
AZOTEA	298	122	3	2	3	4

- 1.- Concentraciones promedio de los muestreos de 8 horas.
- 2.- Número de días que se rebaso la norma de calidad del aire de los Estados Unidos ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para partículas menores a 10 micras en 24 horas por. no existir nivel recomendado para 8 horas.
- 3.- Número de días muestreados.

DL: Dias laborables. DNL: Dias no laborables.

TABLA XI  
NIVELES ENCONTRADOS DE OZONO EN TODOS LOS SITIOS DE MUESTREO

SITIO DE MUESTREO	1 ppb		2 No. DIAS		3 No. DIAS	
	DL	DNL	DL	DNL	DL	DNL
PLANTA BAJA A	46	4	0	0	5	2
PLANTA BAJA B	3	15	0	0	5	2
PRIMER PISO A	10	20	0	0	5	2
PRIMER PISO B	8	21	0	0	5	2
SEGUNDO PISO	10	2	0	0	3	1
TERCER PISO	5	12	0	0	4	2
CUARTO PISO	12	21	0	0	4	2
QUINTO PISO	16	32	0	0	2	2
SEXTO PISO A	18	34	0	0	2	2
SEXTO PISO B	61	70	0	0	5	3
AZOTEA	170	126	7	3	10	6

1.- Concentraciones promedio de los maximos diarios.

2.- Número de días que se rebaso la norma mexicana de calidad del aire (Primer renglón) y la norma de calidad del aire de los Estados Unidos (Segundo renglón).

3.- Número de días muestreados.

DL: Días laborables. DNL: Días no laborables.

TABLA XII.- NIVELES ENCONTRADOS DE FORMALDEHIDO EN TODOS  
LOS SITIOS DE MUESTREO.

SITIO DE MUESTREO	1 ppb		2 No. DIAS		3 No. DIAS	
	DL	DNL	DL	DNL	DL	DNL
PLANTA BAJA A	22	22	0	0	4	2
PLANTA BAJA B	22	20	0	0	5	2
PRIMER PISO A	12	16	0	0	5	2
PRIMER PISO B	11	16	0	0	5	2
SEGUNDO PISO	12	15	0	0	5	2
TERCER PISO	14	7	0	0	5	2
CUARTO PISO	7	4	0	0	5	2
QUINTO PISO	6	3	0	0	5	2
SEXTO PISO A	3	4	0	0	5	2
SEXTO PISO B	4	6	0	0	4	3
AZOTEA	4	1	0	0	3	4

1.- Concentraciones promedio de los muestreos de 8 horas.

2.- Número de días que se rebaso el valor de 100 ppb señalado como límite permisible por el MNHW (Minister of National Health and Welfare) y el AESPW (Architectural & Engineering Services Public Works) de Canada.

3.- Número de días muestreados.

DL: Dias laborables, DNL: Dias no laborables.

CO2 ppm  
(Miles)

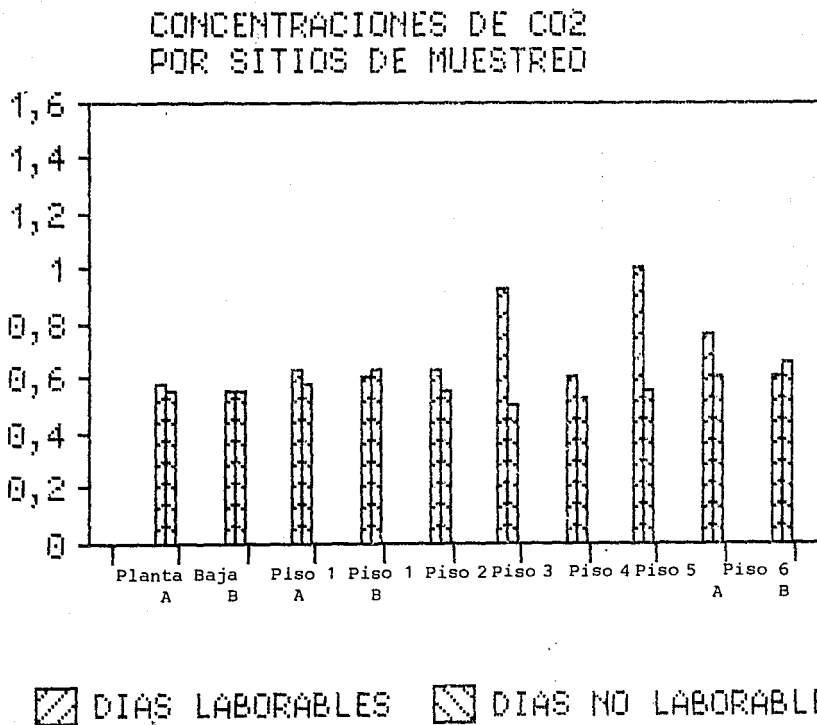


Figura 15 - Concentraciones instantáneas de CO<sub>2</sub> determinado a la hora en que se presenta la máxima concentración de monóxido de carbono y de humedad atmosférica (9-10 a.m.).

## IV.5.3.-ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Con el propósito de fundamentar estadísticamente los resultados obtenidos de las concentraciones de los contaminantes estudiados, se realizó el análisis de variancia llevando a cabo previamente, como requisitos fundamentales para tal análisis, las pruebas de: independencia de muestras, homogeneidad de variancias, y bondad de ajuste. Posteriormente con el fin de fortalecer el análisis de resultados también se hicieron contrastes entre las medias de diferentes sitios de muestreo para los contaminantes en que esto tuvo validez.

Se consideró que la variación entre los diferentes días de la semana tiene un efecto importante sobre las concentraciones de los contaminantes por lo cual se ordenaron los datos para cada uno de ellos mediante un arreglo en bloques considerando 11 tratamientos (sitios de muestreo) y 7 bloques (días de la semana) de la siguiente manera:

Tratamientos (Sitios de muestreo)	Bloques (Días de la semana)
1.- Planta Baja A	1.- Lunes
2.- Planta Baja B	2.- Martes
3.- Primer Piso A	3.- Miercoles
4.- Primer Piso B	4.- Jueves
5.- Segundo Piso	5.- Viernes
6.- Tercer Piso	6.- Sabado
7.- Cuarto Piso	7.- Domingo
8.- Quinto Piso	
9.- Sexto Piso A	
10.- Sexto Piso B	
11.- Azotea	

Los datos ordenados por tratamientos y bloques para monóxido de carbono, coeficiente de suciedad, partículas inhalables, ozono y formaldehído se presentan en las tablas XIII, XIV, XV, XVI y XVII respectivamente. Con excepción del ozono en el cual se manejaron sus concentraciones máximas horarias de acuerdo a lo indicado por su norma de calidad del aire, en todos los otros casos se consideraron los valores promedio de 8 horas durante el periodo de labores (9-17 horas). Por faltar 3 datos en cada uno de los pisos 2, 5 y 6A se redujo a 8 el número de tratamientos en el caso específico del ozono.

La prueba para independencia del muestreo se realizó graficando los valores de concentración ordenados secuencialmente conforme fueron obtenidas las muestras. Estos resultados se presentan en las figuras 16a la 20 para cada uno de los contaminantes estudiados y de los cuales se concluye que existe independencia, ya que los datos se comportan sin tener una estructura y en el caso de presentarse esto se debió a la diferencia de niveles de contaminantes en los diferentes pisos y no a la dependencia entre los muestreos (Montgomery 1984).



## IV.5.3.-ANALISIS ESTADISTICO.

Con el propósito de fundamentar estadísticamente los resultados obtenidos de las concentraciones de los contaminantes estudiados, se realizó el análisis de variancia llevando a cabo previamente, como requisitos fundamentales para tal análisis, las pruebas de: independencia de muestras, homogeneidad de variancias, y bondad de ajuste. Posteriormente con el fin de fortalecer el análisis de resultados también se hicieron contrastes entre las medias de diferentes sitios de muestreo para los contaminantes en que esto tuvo validéz.

Se consideró que la variación entre los diferentes días de la semana tiene un efecto importante sobre las concentraciones de los contaminantes por lo cual se ordenaron los datos para cada uno de ellos mediante un arreglo en bloques considerando 11 tratamientos (sitios de muestreo) y 7 bloques (días de la semana) de la siguiente manera:

Tratamientos (Sitios de muestreo)	Bloques (Días de la semana)
1.- Planta Baja A	1.- Lunes
2.- Planta Baja B	2.- Martes
3.- Primer Piso A	3.- Miercoles
4.- Primer Piso B	4.- Jueves
5.- Segundo Piso	5.- Viernes
6.- Tercer Piso	6.- Sabado
7.- Cuarto Piso	7.- Domingo
8.- Quinto Piso	
9.- Sexto Piso A	
10.- Sexto Piso B	
11.- Azotea	

Los datos ordenados por tratamientos y bloques para monóxido de carbono, coeficiente de suciedad, partículas inhalables, ozono y formaldehído se presentan en las tablas XIII, XIV, XV, XVI y XVII respectivamente. Con excepción del ozono en el cual se manejan sus concentraciones máximas horarias de acuerdo a lo indicado por su norma de calidad del aire, en todos los otros casos se consideraron los valores promedio de 8 horas durante el periodo de labores (9-17 horas). Por faltar 3 datos en cada uno de los pisos 2, 5 y 6A se redujo a 8 el número de tratamientos en el caso específico del ozono.

La prueba para independencia del muestreo se realizó graficando los valores de concentración ordenados secuencialmente conforme fueron obtenidas las muestras. Estos resultados se presentan en las figuras 16a la 20 para cada uno de los contaminantes estudiados y de los cuales se concluye que existe independencia, ya que los datos se comportan sin tener una estructura y en el caso de presentarse esto se debió a la diferencia de niveles de contaminantes en los diferentes pisos y no a la dependencia entre los muestreos (Montgomery 1984).

TABLA XIII.- DATOS DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE 8 HORAS DI: MONOXIDO DE CARBONO (ppm)  
 POR SITIOS DE MUESTREO Y DIAS DE LA SEMANA.

		BLOQUES: DIAS DE LA SEMANA							
		1	2	3	4	5	6	7	
		L	M	M	J	V	S	D	
1	PLANTA A	16.30	19.00	15.30	18.30	18.30	12.70	10.60	
2	PLANTA B	13.80	15.40	13.70	13.40	16.90	10.90	8.10	
3	PISO 1A	7.00	8.00	7.70	10.70	11.10	8.90	3.30	
4	PISO 1B	12.40	11.20	13.90	13.10	11.60	8.20	7.30	
5	PISO 2	7.90	8.00	7.60	5.80	5.40	6.50	5.80	TRATAMIENTOS
6	PISO 3	8.30	9.80	8.20	5.90	6.20	3.60	4.10	SITIOS DE
7	PISO 4	7.30	5.70	6.40	5.00	7.30	4.20	3.70	MUESTREO
8	PISO 5	6.60	7.90	7.40	8.90	7.20	4.20	3.40	
9	PISO 6A	5.90	5.40	7.30	5.00	4.80	4.30	5.00	
10	PISO 6B	10.40	9.00	10.00	9.30	10.30	8.10	7.10	
11	AZOTEA	6.30	6.80	8.00	9.70	10.70	6.70	6.60	

TABLA XIV.- DATOS PROMEDIO DE 8 HORAS DEL COEFICIENTE DE SUCIEDAD (COHs)  
 POR SITIOS DE MUESTREO Y DIAS DE LA SEMANA.

	BLOQUES: DIAS DE LA SEMANA							
	1 L	2 M	3 M	4 J	5 V	6 S	7 D	
1 PLANTA A	2.00	2.60	3.10	3.40	3.10	2.30	2.10	
2 PLANTA B	2.90	2.90	3.20	2.60	3.20	2.30	1.70	
3 PISO 1A	2.20	2.60	2.50	2.30	3.00	2.40	2.10	
4 PISO 1B	3.00	2.60	2.70	2.50	3.30	2.50	2.50	
5 PISO2	1.90	1.90	2.00	1.20	1.30	1.90	1.90	TRATAMIENTOS
6 PISO 3	2.00	2.60	2.90	1.80	1.70	1.40	1.30	SITIOS DE MUESTREO
7 PISO 4	2.00	1.70	2.00	1.50	2.20	1.80	1.20	
8 PISO 5	1.30	1.70	1.70	1.80	1.20	1.10	1.20	
9 PISO 6A	1.80	1.80	2.00	2.00	1.60	2.10	1.90	
10 PISO 6B	1.90	1.40	1.90	1.20	2.00	1.60	1.70	
11 AZOTEA	1.40	1.10	2.30	2.80	1.50	1.90	1.40	

TABLA XV .- DATOS DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE 8 HORAS DE PARTICULAS INHALABLES ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 POR SITIOS DE MUESTREO Y DIAS DE LA SEMANA.

		BLOQUES: DIAS DE LA SEMANA							
		1	2	3	4	5	6	7	
		L	M	M	J	V	S	D	
1	PLANTA A	589.00	669.00	611.00	508.00	581.00	88.00	456.00	
2	PLANTA B	2118.00	853.00	1133.00	1530.00	2074.00	618.00	1405.00	
3	PISO 1A	147.00	250.00	316.00	456.00	463.00	316.00	1360.00	
4	PISO 1B	1986.00	2564.00	154.00	74.00	88.00	154.00	154.00	
5	PISO 2	956.00	228.00	191.00	416.00	993.00	809.00	1007.00	TRATAMIENTOS
6	PISO 3	4782.00	4590.00	449.00	868.00	655.00	861.00	4818.00	SITIOS DE
7	PISO 4	4215.00	191.00	2467.00	2927.00	4105.00	3575.00	2906.00	MUESTREO
8	PISO 5	3163.00	963.00	301.00	1721.00	677.00	596.00	3185.00	
9	PISO 6A	566.00	419.00	316.00	59.00	353.00	743.00	235.00	
10	PISO 6B	522.00	478.00	1162.00	942.00	1346.00	1500.00	1419.00	
11	AZOTEA	338.00	302.00	253.00	109.00	37.00	191.00	154.00	

TABLA XVI.- DATOS DE CONCENTRACIONES MAXIMAS HORARIAS DE OZONO (ppb)  
 POR SITIOS DE MUESTREO Y DIAS DE LA SEMANA.

	BLOQUES: DIAS DE LA SEMANA							TRATAMIENTOS SITIOS DE MUESTREO
	1	2	3	4	5	6	7	
	L	M	M	J	V	S	D	
1 PLANTA A	58.00	86.00	10.00	35.00	42.00	1.00	7.00	
2 PLANTA B	4.00	1.00	4.00	1.00	2.00	25.00	5.00	
3 PISO 1A	2.00	14.00	14.00	6.00	14.00	26.00	13.00	
4 PISO 1B	5.00	10.00	16.00	9.00	2.00	26.00	16.00	
5 PISO 3	5.00	7.00	2.00	20.00	7.00	8.00	16.00	
6 PISO 4	5.00	22.00	14.00	27.00	5.00	13.00	28.00	
7 PISO 6B	80.00	50.00	40.00	80.00	60.00	90.00	70.00	
8 AZOTEA	80.00	180.00	250.00	250.00	180.00	150.00	210.00	

TABLA XVII.- DATOS DE CONCENTRACIONES PROMEDIO DE 8 HORAS DE FORMALDEHIDO (ppb)  
 POR SITIOS DE MUESTREO Y DIAS DE LA SEMANA.

BLOQUES: DIAS DE LA SEMANA

	1	2	3	4	5	6	7	
	L	M	M	J	V	S	D	
1 PLANTA A	20.60	17.00	25.00	34.00	6.00	25.00	18.00	
2 PLANTA B	28.00	43.00	21.00	17.00	0.30	14.00	25.00	
3 PISO 1A	0.20	18.00	11.00	14.00	15.00	23.00	8.00	
4 PISO 1B	17.00	9.00	8.00	11.00	10.00	13.00	19.00	
5 PISO 2	21.00	22.00	12.00	2.00	3.00	15.00	14.00	TRATAMIENTOS
6 PISO 3	13.00	17.00	6.00	10.00	13.00	8.00	7.00	SITIOS DE
7 PISO 4	0.50	8.00	11.00	10.00	7.00	4.00	4.00	MUESTREO
8 PISO 5	1.00	4.00	9.00	10.00	4.00	4.00	1.00	
9 PISO 6A	0.10	4.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
10 PISO 6B	6.00	1.00	1.00	7.00	4.00	8.00	4.00	
11 AZOTEA	0.10	1.00	1.10	1.00	0.90	2.00	0.10	

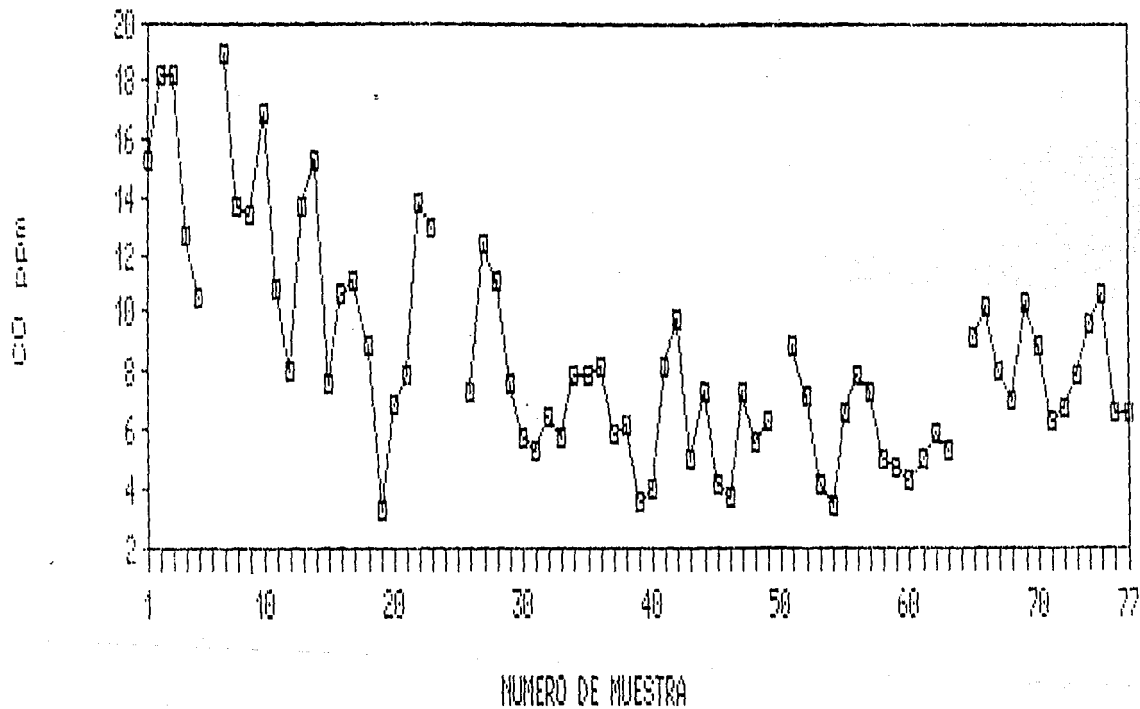
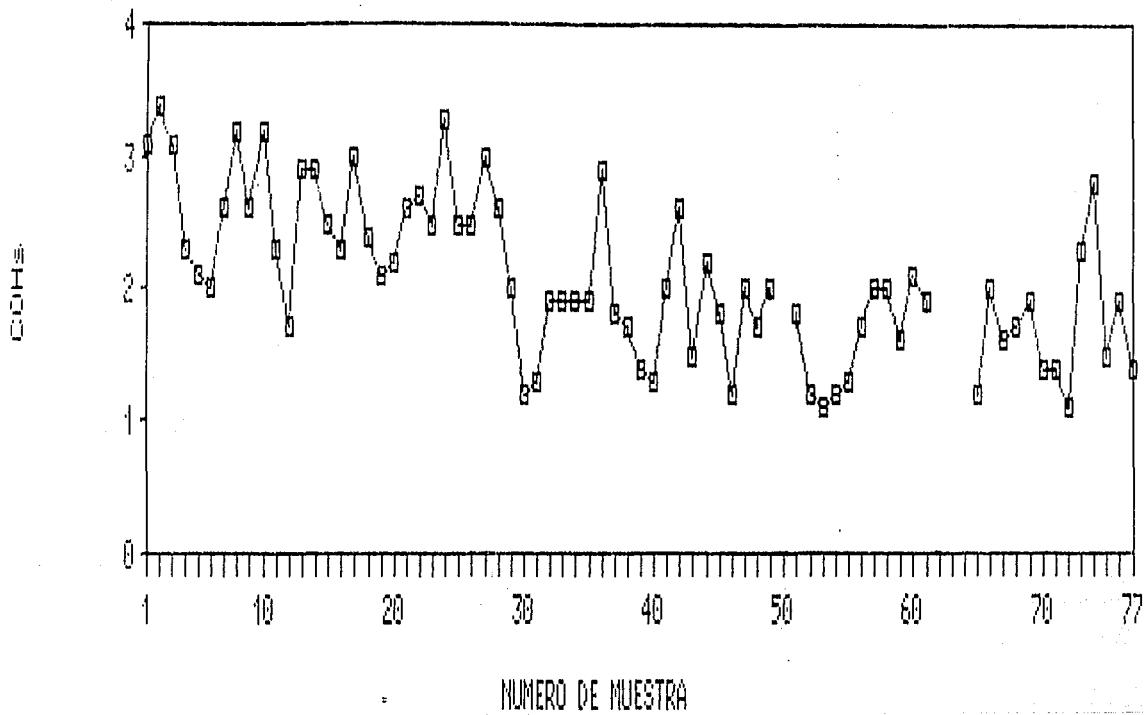


FIGURA 16

CONCENTRACIONES DE MONOXIDO DE CARBONO ORDENADAS SECUENCIALMENTE CONFORME AL TIEMPO.



NUMERO DE MUESTRA

□ COEF. DE SUCIEDAD

FIGURA 17

NIVELES DEL COEFICIENTE DE SUCIEDAD ORDENADOS SECUENCIALMENTE CONFORME AL TIEMPO.



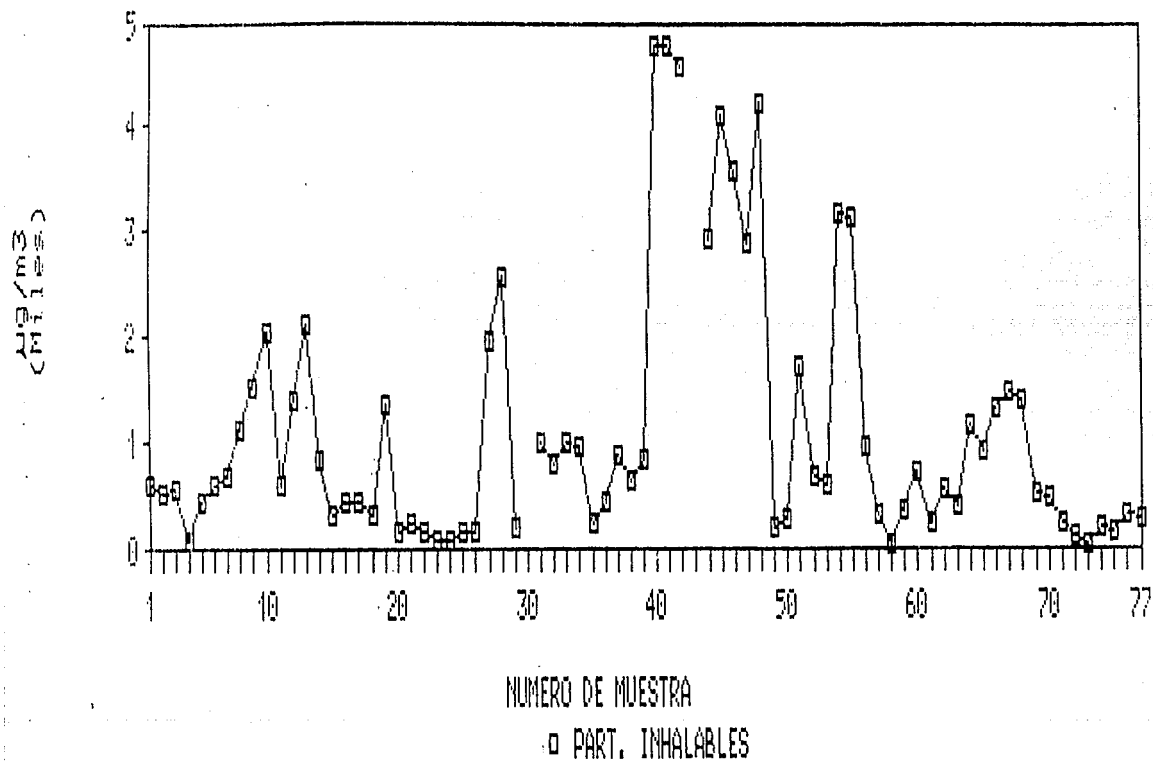
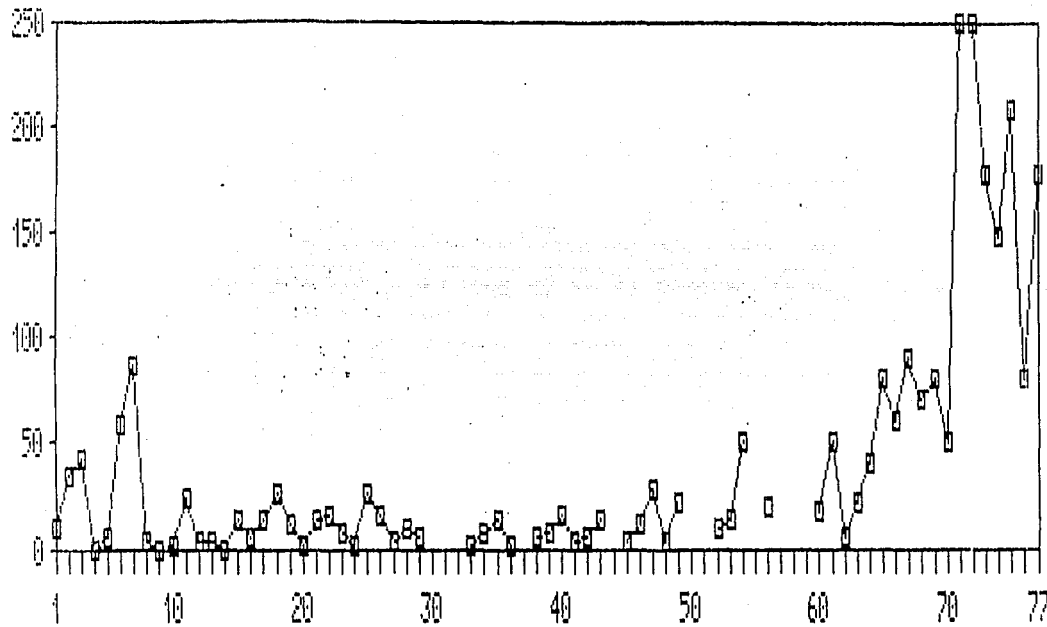


FIGURA 18

CONCENTRACIONES DE PARTICULAS INHALABLES ORDENADAS SECUENCIALMENTE CONFORME AL TIEMPO.

O<sub>3</sub> PPB



NUMERO DE MUESTRA

□ OZONO

FIGURA 19

CONCENTRACIONES DE OZONO ORDENADAS SECUENCIALMENTE CONFORME AL TIEMPO.

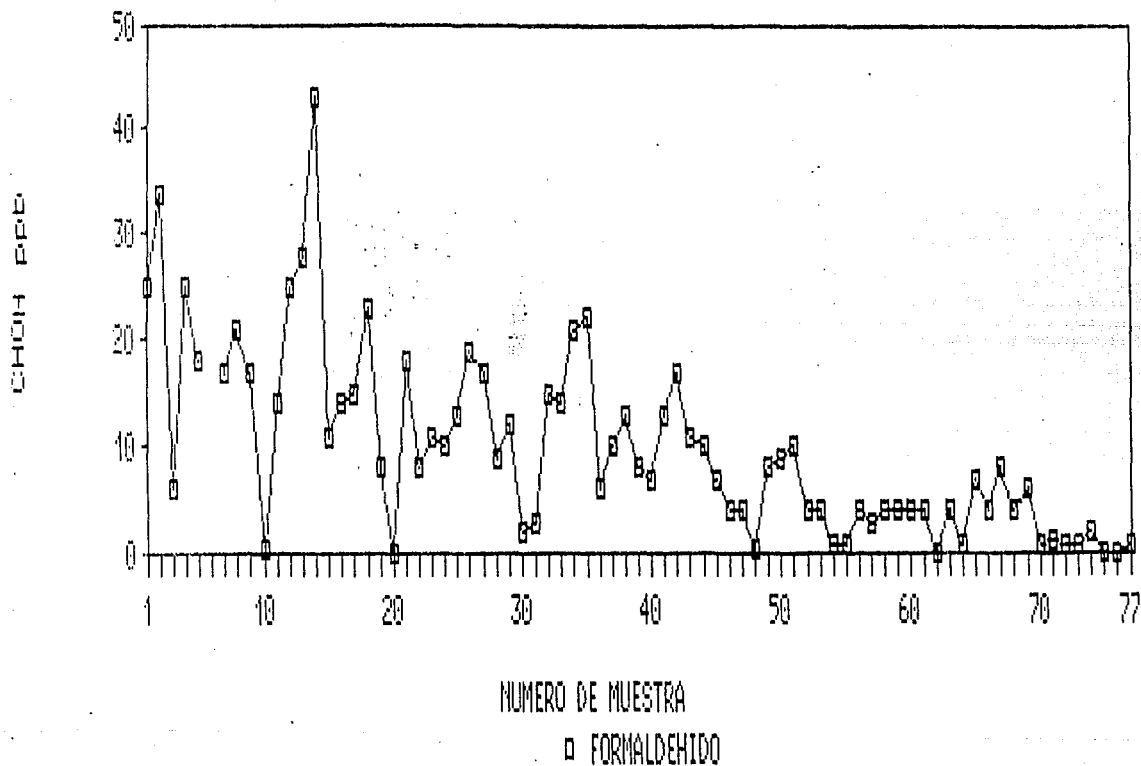


FIGURA 20

CONCENTRACIONES DE FORMALDEHIDO ORDENADAS SECUENCIALMENTE CONFORME AL TIEMPO.

La homogeneidad de variancias se determinó mediante la prueba de Bartlett, pasandola solamente el monóxido de carbono y el coeficiente de suciedad. Una vez aprobada la homogeneidad de variancias se procedio a determinar la bondad de ajuste, aceptándose la hipótesis de distribución normal para los dos contaminantes mencionados.

En la figura 21 a la 25 se presentan los histogramas de frecuencias para cada uno de los 5 contaminantes, observandose que para el caso de partículas inhalables, formaldehido y ozono se encuentra la distribución de frecuencias completamente cargada a la izquierda debido a la gran cantidad de valores pequeños que se tienen, mientras que en el caso de monóxido de carbono y coeficiente de suciedad se observa cierta normalidad. La aseveración anterior se refuerza con las gráficas de por ciento acumulado presentadas en las figura 26 a la 30, y se confirmó la normalidad de los datos de monóxido de carbono y del coeficiente de suciedad por la prueba de Kolmogorov y Smirnov para la bondad de ajuste (Kreyszig 1983).

Para los contaminantes que se comportaron normalmente, se realizó el análisis de variancia empleando la distribución F, mientras que para los contaminantes que no mostraron este comportamiento se empleó el método de Kruskal-Wallis (Montgomery 1984).

Los resultados del análisis de variancia se presentan condensados en la tabla XVIII, e indican que si hay una diferencia significativa debido a los sitios de muestreo (tratamientos) así como a los días de la semana (bloques) para monóxido de carbono y coeficiente de suciedad. Lo anterior fué de esperarse, ya que la presencia de estos contaminantes se debe principalmente a la actividad humana, y su impacto produce variación tanto espacial como temporal.

Para los otros contaminantes se encontró un efecto significativo respecto a los sitios de muestreo pero no con respecto a los días de la semana, lo cual es originado por mantenerse la presencia de sus fuentes de contaminación aún en días no laborables. En el caso de partículas inhalables esto se debe a que durante los días no laborables se llevan a cabo actividades de mantenimiento y limpieza, para formaldehido esto resultado por ser sus fuentes independientes a la actividad humana recordando que las principales son materiales de construcción conglomerados, mientras que para ozono esto se espero por estar presente en el interior en bajas concentraciones. Es importante señalar que el análisis para estos 3 contaminantes no tiene un soporte adecuado por no haber pasado la prueba de Bartlett.

Los programas de computación con los cuales se apoyo la realización del análisis estadístico fueron: STATGRAPHICS y HERMUT.

COPIA RESERVA  
DE LA BIBLIOTECA

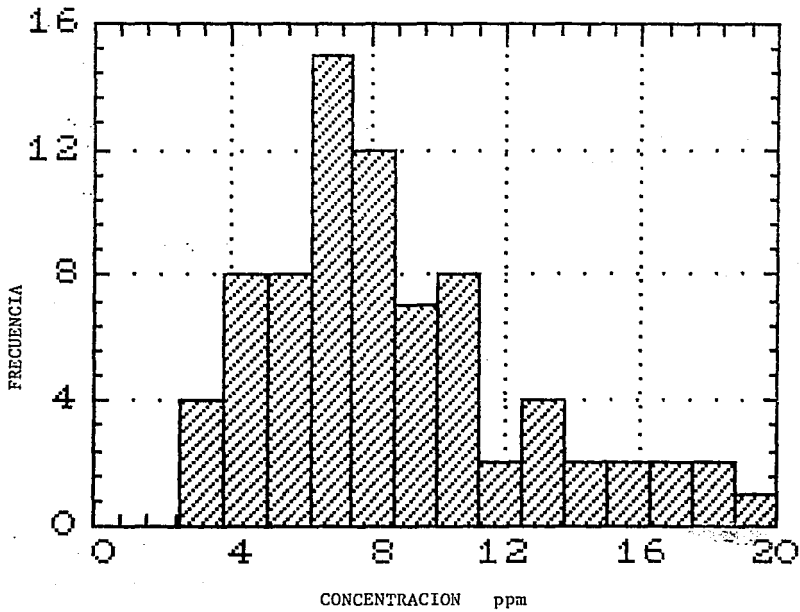


FIGURA 21

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS CONCENTRACIONES DE MONOXIDO DE CARBONO.

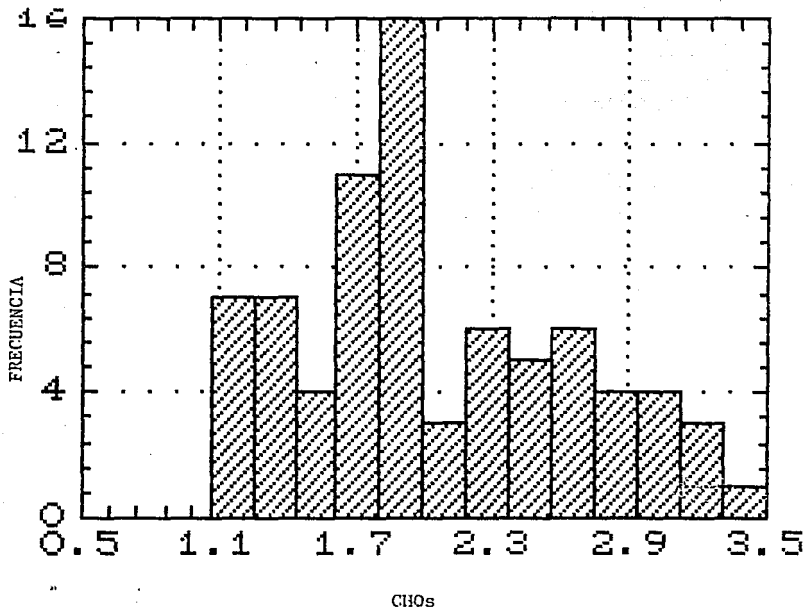


FIGURA 22

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LOS VALORES  
DEL COEFICIENTE DE SUCIEDAD.

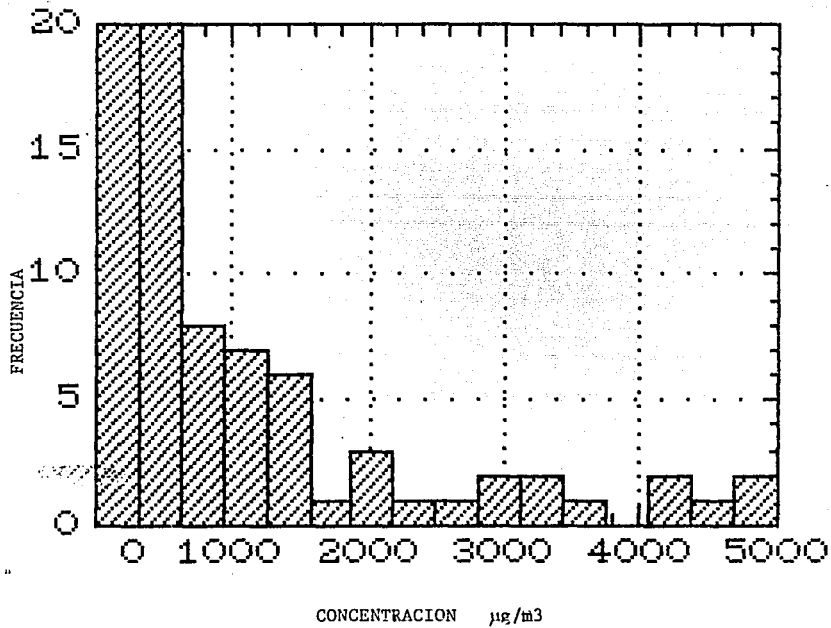


FIGURA 23

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS CONCENTRACIONES DE PARTICULAS INHALABLES.

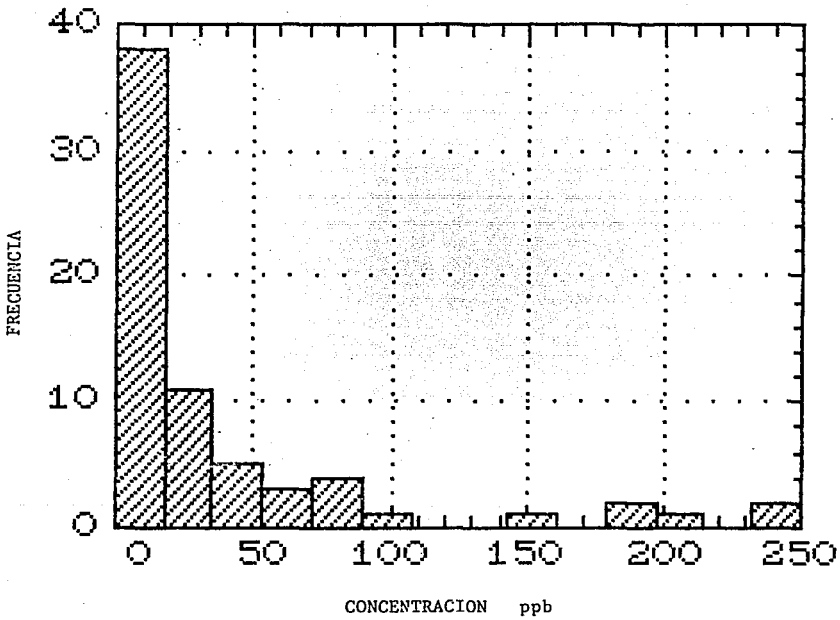


FIGURA 24

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS CONCENTRACIONES DE OZONO.



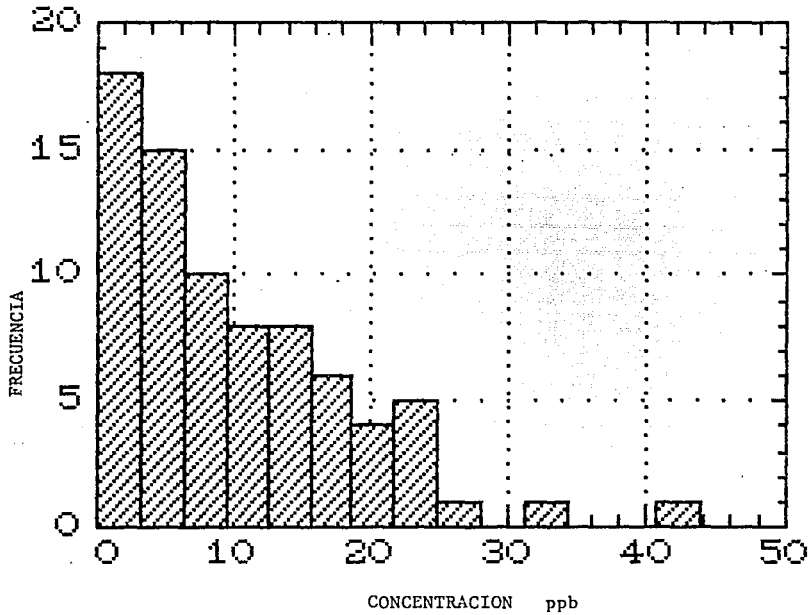
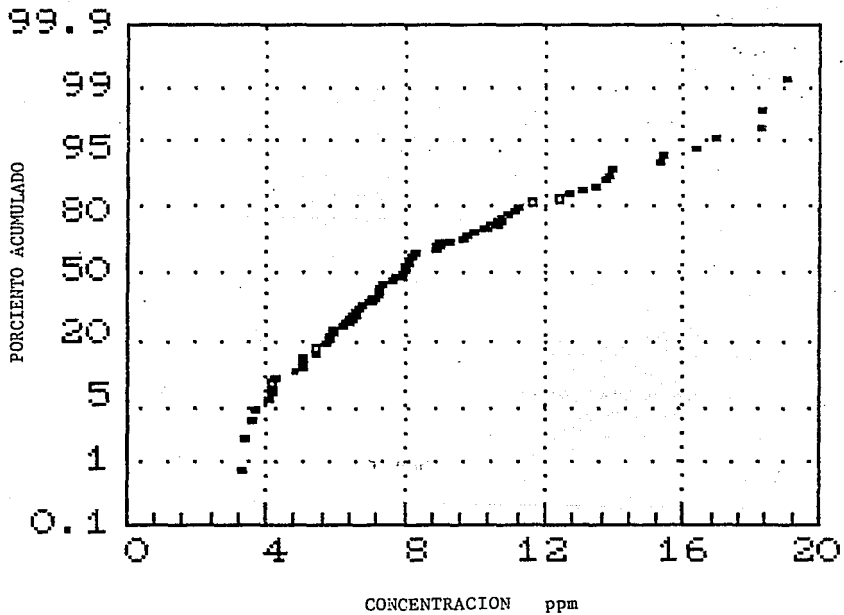


FIGURA 25

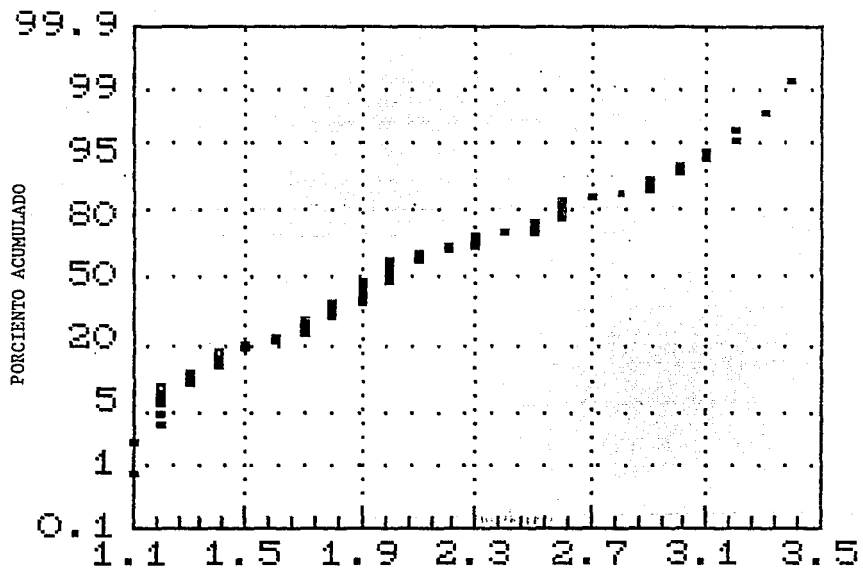
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS PARA LAS CONCENTRACIONES DE FORMALDEHIDO.



CONCENTRACION ppm

FIGURA 26

PORCIENTO ACUMULADO PARA LAS CONCENTRACIONES  
DE MONOXIDO DE CARBONO.



COHs  
FIGURA 27

PORCIENTO ACUMULADO PARA LOS NIVELES  
DEL COEFICIENTE DE SUCIEDAD.

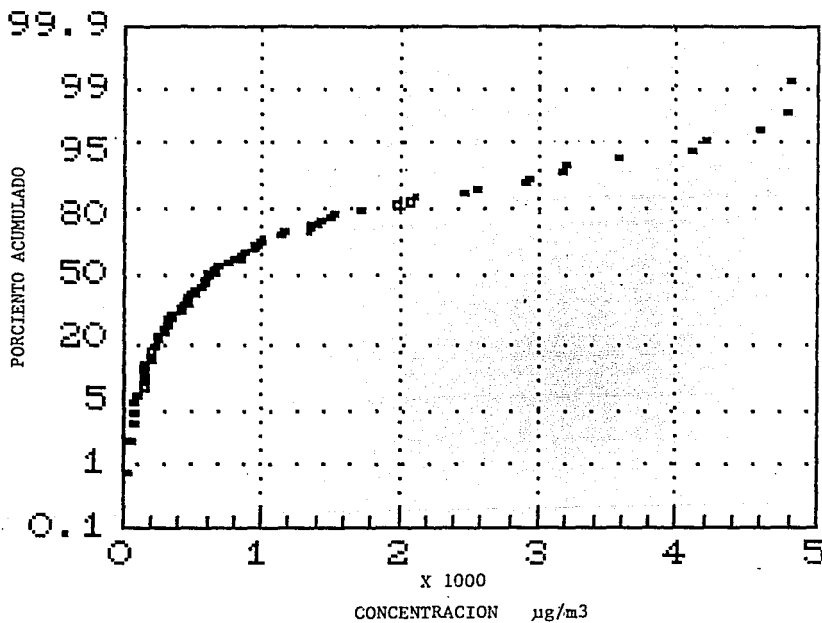


FIGURA 23

PORCIENTO ACUMULADO PARA LAS CONCENTRACIONES  
DE PARTICULAS INHALABLES.

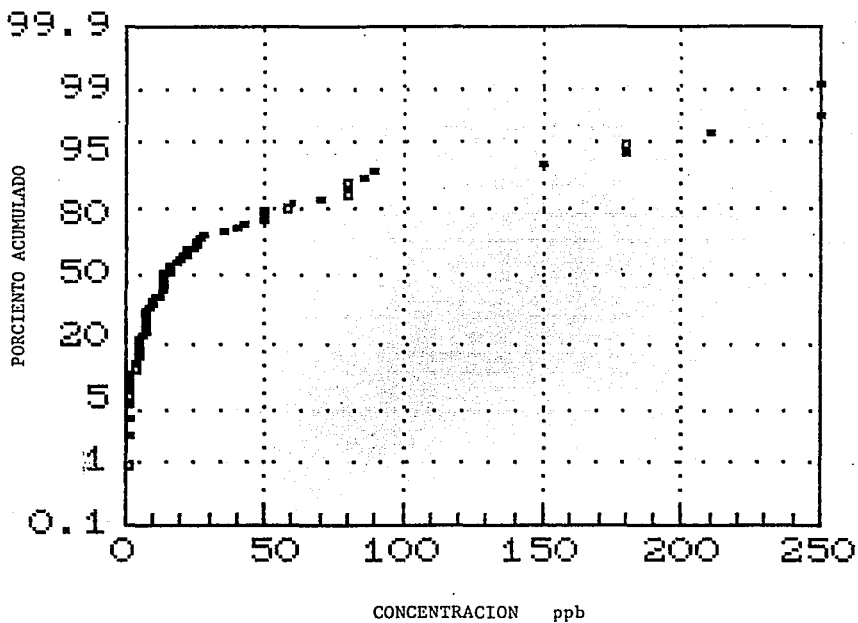
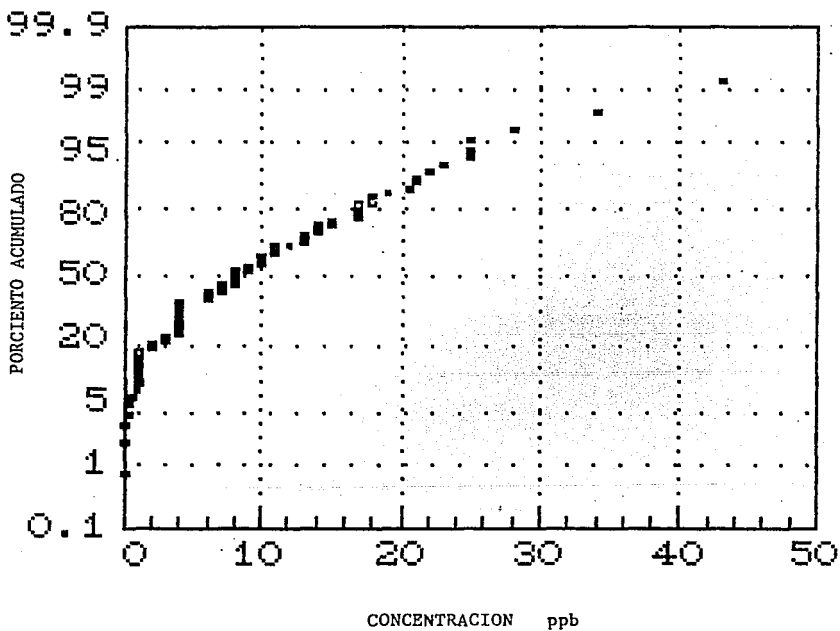


FIGURA 29

PORCIENTO ACUMULADO PARA LAS CONCENTRACIONES DE OZONO.



CONCENTRACION ppb

FIGURA 30

PORCIENTO ACUMULADO PARA LAS CONCENTRACIONES DE FORMALDEHIDO.

TABLA XVIII.- RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANCIAS PARA LOS DISTINTOS CONTAMINANTES.

CONTAMINANTE	ANALISIS DE VARIANCIAS	NORMALIDAD (Kolmogorov-Smirnov)	HOMOGENEIDAD DE VARIANCIAS (Bartlett)
	NORMAL		
MONOXIDO DE CARBONO	$F_0=5.65 > F_{10,55}=2.0$ $F_1=2.92 > F_{0,55}=2.27$ Se rechaza $H_0$ tanto para tratamientos como para bloques	$\chi^2_0=16.09$ $\chi^2_{0.05,7}=14.07$ $\chi^2_{0.01,7}=18.48$ Pasa la prueba al 1%	Probabilidad ( $B\chi^2$ cal) Est. = 0.085
	NORMAL		
COEFICIENTE DE SUCIEDAD	$F_0=9.69 > F_{10,56}=2.0$ $F_1=2.94 > F_{0,56}=2.27$ Se rechaza $H_0$ tanto para tratamientos como para bloques	$\chi^2_0=8.80$ $\chi^2_{0.05,7}=14.07$ Pasa la prueba al 5%	Probabilidad ( $B\chi^2$ cal) Est. = 0.089
	NO PARAMETRICO		
PARTICULAS INHALABLES	$H_r=38.36 >$ $\chi^2_{0.05,10}=18.3$ $H_b=5.17 <$ $\chi^2_{0.05,6}=12.59$ Se rechaza $H_0$ para tratamientos, y se acepta para bloques	No se realizó la prueba de bondad de ajuste por no ser necesario, ya que no paso la prueba de Bartlett	No existe homogeneidad de variancias
	NO PARAMETRICO		
OZONO	$H_r=35.8 >$ $\chi^2_{0.05,10}=18.3$ $H_b=1.9 <$ $\chi^2_{0.05,6}=12.59$ Se rechaza $H_0$ para tratamientos, y se acepta para bloques	No se realizó la prueba de bondad de ajuste por no ser necesario, ya que no paso la prueba de Bartlett	No existe homogeneidad de variancias
	NO PARAMETRICO		
FORMALDEHIDO	$H_r=43.43 >$ $\chi^2_{0.05,10}=18.3$ $H_b=5.17 <$ $\chi^2_{0.05,6}=12.59$ Se rechaza $H_0$ para tratamientos, y se acepta para bloques	No se realizó la prueba de bondad de ajuste por no ser necesario, ya que no paso la prueba de Bartlett	No existe homogeneidad de variancias

Donde  $F_0$  y  $F_1$  corresponden a los estadísticos de prueba de la distribución F para tratamientos y bloques respectivamente, mientras que  $H_r$  y  $H_b$  corresponden a los estadísticos de la prueba de Kruskal-Wallis.

Para el monóxido de carbono y el coeficiente de suciedad, que aprobaron tanto homogeneidad de variancias como bondad de ajuste, se realizaron contrastes entre las medias de parejas de sitios de muestreo (tratamientos) que presentaron valores extremos ó semejantes para reforzar las observaciones encontradas. El programa empleado en el cálculo de los contrastes fue HERMUT y los resultados obtenidos se indican en la tabla XIX.

Los resultados indican igualdad de medias cuando los resultados de probabilidad son mayores de 0.05. Por ejemplo existió igualdad de medias entre el último piso (sexto sitio B) con el exterior por tener un intercambio de aire directo. Se obsevó una clara diferencia entre la planta baja y la azotea debido a la variación de los contaminantes con la altura del edificio sobre todo por la influencia del tráfico vehicular que es importante en la planta baja.

Los datos de monóxido de carbono mostraron una mayor diferencia entre las medias en comparación con el coeficiente de suciedad, debido a que su presencia está definida por fuentes, variables en su magnitud, y determinantes tanto interiores como exteriores, esto es el tabaquismo y el tráfico vehicular respectivamente; mientras que el coeficiente de suciedad se ve afectado además por otras fuentes.



TABLA XIX.- RESULTADOS DE LOS CONTRASTES PARA MONOXIDO DE CARBONO Y COEFICIENTE DE SUCIEDAD.

CONTRASTE	MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS*	SITIOS DE MUESTREO	RESULTADO (PROBABILIDAD)*
1 $\mu_1 = \mu_2$	15.79, 13.17 2.66, 2.69	PLANTA BAJA A, PLANTA BAJA B	0.001888 0.859622
2 $\mu_2 = \mu_3$	13.17, 8.10 2.69, 2.44	PLANTA BAJA B, PRIMER PISO A	0 0.235997
3 $\mu_2 = \mu_4$	13.17, 11.10 2.69, 2.73	PLANTA BAJA B, PRIMER PISO B	0.011460 0.816267
4 $\mu_3 = \mu_4$	8.10, 11.10 2.44, 2.73	PRIMER PISO A, PRIMER PISO B	0.000480 0.162084
5 $\mu_9 = \mu_{10}$	5.39, 9.17 1.89, 1.67	SEXTO PISO A, SEXTO PISO B	0.000025 0.297436
6 $\mu_5 = \mu_6$	6.71, 6.59 1.73, 1.96	SEGUNDO PISO, TERCER PISO	0.846957 0.265469
7 $\mu_1 = \mu_{11}$	15.79, 7.83 2.66, 1.77	PLANTA BAJA A, AZOTEA	0 0.000083
8 $\mu_3 = \mu_{11}$	8.10, 7.83 2.44, 1.77	PRIMER PISO A, AZOTEA	0.732042 0.001779
9 $\mu_9 = \mu_{11}$	5.39, 7.83 1.89, 1.77	SEXTO PISO A, AZOTEA	0.003696 0.583629
10 $\mu_{10} = \mu_{11}$	9.17, 7.83 1.67, 1.77	SEXTO PISO B, AZOTEA	0.093758 0.630582

\*Los datos superiores corresponden al monóxido de carbono mientras que los inferiores corresponden al coeficiente de suciedad.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### V.1 CONCLUSIONES

La naturaleza e intensidad de las emisiones originadas en el interior del edificio, aunadas a la contribución de contaminantes provenientes del exterior tanto por el sistema de ventilación como por las puertas de acceso fue de alta significancia sobre la calidad del aire en el interior del edificio.

Los resultados obtenidos sobre las concentraciones en el interior del edificio en el caso de monóxido de carbono y partículas como coeficiente de suciedad mostraron un claro impacto sobre sus niveles durante los días y periodos laborables además que tanto el monóxido de carbono como las partículas inhalables estuvieron presentes en concentraciones no recomendables en varios sitios de muestreo.

Las concentraciones de monóxido de carbono se encontraron en niveles no recomendables (por arriba de las normas de calidad del aire) sobre todo en la planta baja y en el primer piso. En los pisos restantes también estuvo presente ya que la principal fuente interior de este contaminante fue el consumo de cigarrillos y esto se dió en todos los pisos. Sin embargo, es en los pisos inferiores donde se tuvo una mayor contaminación porque se adicionó la contribución exterior a través de las puertas de acceso que comunicaban al edificio con las calles que presentaron gran tráfico vehicular. Lo anterior dió lugar a que esta contribución exterior se fuera diluyendo con respecto a la altura del edificio.

La presencia de niveles muy elevados de partículas inhalables pudo deberse a contaminación e interferencia en los muestreos más que a la calidad real del aire, por lo cual desafortunadamente esto constituye una limitación en los alcances del estudio.

Las partículas inhalables, que al igual que el monóxido de carbono se encontraron en concentraciones no recomendables, tienen también como principal fuente interior el consumo de cigarrillos y en menor grado, contribución del exterior a través de las puertas de acceso y por el sistema de ventilación. Aunque en fines de semana se encontraron altas concentraciones de partículas inhalables, esto se atribuyó a actividades de mantenimiento y limpieza (tales como: pulido de pisos; limpieza de cristales y paredes; cambios de alfombra o movimiento de muebles) realizadas precisamente en esos días no laborables.

Las concentraciones de ozono y formaldehído encontradas para los sitios y durante los días de muestreo estudiados no estuvieron presentes por arriba de sus concentraciones recomendadas, por lo cual sus niveles fueron aceptables.

Los niveles de dichos contaminantes se mantendrán siempre y cuando las fuentes que los originan, tanto interiores como exteriores, no sufran alguna modificación.

El análisis estadístico confirmó la variación de los niveles de monóxido de carbono y de partículas como coeficiente de suciedad en los diferentes sitios de muestreo así como para los distintos días de la semana, manifestándose más esta diferencia entre los días laborables y no laborables. Para formaldehído y ozono solo se encontró una diferencia significativa entre los distintos sitios de muestreo pero no durante los días de la semana. Lo anterior se debe en el caso del formaldehído, a que no es producto de las diferentes actividades sino de materiales conglomerados. En el caso del ozono esto se debe a que su presencia en el interior es por infiltración, y su comportamiento en el exterior no manifiesta una diferencia notable entre los días de la semana por ser un contaminante secundario. Para partículas inhalables también se encontró una diferencia significativa entre sitios de muestreo pero no así para los días de la semana; debido a que las actividades de mantenimiento y limpieza ya indicadas durante los fines de semana constituyen un importante factor.

Las mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa manifestaron una situación confortable y en algunos casos ligeramente fría de acuerdo a la ASHRAE, además que apoyadas con los resultados sobre las concentraciones de bióxido de carbono, señalan que se presentó una circulación de aire adecuada en el interior del edificio con excepción de los pisos 3 y 5 en donde el bióxido de carbono estuvo en niveles por arriba de los recomendados.

Por la mala calidad del aire en el exterior así como la generación de contaminantes en el interior, se presentó una calidad del aire en el edificio no aceptable en cuanto a monóxido de carbono y partículas inhalables. Por lo anterior las medidas tendientes a mejorar la calidad del aire deberán estar enfocadas a controlar ambos contaminantes disminuyendo su generación, por lo que respecta a la contribución del interior y reduciendo su entrada al edificio (contribución exterior).

## V.2 RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar la calidad del aire en el interior del edificio se proponen los siguientes puntos:

-Para evitar la entrada de monóxido de carbono proveniente del exterior, mantener cerrada la puerta de acceso localizada en la esquina la mayor parte del tiempo que sea posible. Con esta medida también se tendrá un efecto positivo en cuanto a la reducción de los niveles de partículas y ozono por tener estos contaminantes una contribución importante del exterior.

-Con el fin de disminuir la cantidad de partículas que pasan al interior del edificio a través del sistema de ventilación, instalar filtros de alta eficiencia en las tomas de entrada de aire.

-Para la reducción de los niveles de partículas y monóxido de carbono, cuya principal fuente interior es el tabaquismo, se plantean las siguientes alternativas:

a) En los sitios donde el consumo de cigarros sea mayor, como en el caso de las salas de juntas, se recomienda instalar sistemas de extracción de aire con apoyo adicional de sistemas limpiadores de aire. Si además estos equipos limpiadores contienen carbón activado, se logrará la remoción de gases sobre todo de compuestos orgánicos y olores. Es importante indicar que para el control de monóxido de carbono su extracción es el método recomendable, en cuanto a los equipos limpiadores para partículas es conveniente utilizar equipos que operen por el principio de filtración, ya que los de tipo electrostático generan ozono.

b) En caso extremo, se recomienda la creación de áreas reservadas exclusivamente para fumar con extracción directa de aire pudiéndose apoyar en aparatos limpiadores cuyo principio sea filtración y adsorción con carbón activado.

-Evitar la adquisición de materiales tales como paneles de conglomerado, plafones o alfombras, fabricados con resinas de base urea-formaldehído, ya que generan formaldehído y, aunque las concentraciones encontradas fueron bajas, si existiera un aumento en sus fuentes de emisión sus niveles también se incrementarían.

Con el propósito de mejorar la investigación desarrollada se presentan las siguientes recomendaciones:

-Llevar a cabo mediciones de contaminantes durante bastante tiempo (meses) en el mismo sitio de muestreo con el propósito de obtener muestras suficientes para aplicar un análisis estadístico y determinar su tendencia y variaciones estacionales, entre otras. Un análisis por series de tiempo sería recomendable.

-Medir otros contaminantes de interés y que pueden estar presentes en el interior de un edificio como son: pesticidas, nicotina, benzo  $\alpha$  pireno, óxidos de nitrógeno, radón y microorganismos.

-Emplear equipo de monitoreo diseñado específicamente para estudios de calidad del aire en ambientes interiores.

-Evaluar el sistema de ventilación para conocer los cambios de aire así como sus trayectorias a través del edificio.

-Realizar simultáneamente las mediciones tanto en el interior como en el exterior. En el caso óptimo se deberán de realizar al mismo tiempo todas las mediciones en los diferentes sitios de muestreo.

-Monitorear continuamente todos los parámetros para conocer en detalle su comportamiento durante las 24 horas del día y así poder apoyar de una mejor manera las medidas de control. Con este tipo de monitoreo se podrá comparar los resultados con las normas de calidad del aire o niveles recomendados, correspondientes, obteniendo valores promedio integrados durante el periodo de tiempo deseado. Lo anterior solo se realizó para ozono y monóxido de carbono.

-Para el caso de partículas además de realizar monitoreos continuos, tomar en cuenta que los resultados obtenidos deberán estar en concentración, y no como coeficiente de suciedad, a fin de poder compararlos con las normas de calidad del aire.

-Para ampliar el conocimiento sobre la contaminación del aire en interiores es recomendable extender la evaluación de la calidad del aire a diferentes edificios con el fin de poder detectar la variación de contaminantes en función de: actividades llevadas a cabo, número de ocupantes, operación de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, así como el efecto de la zona urbana en la cual se localiza el inmueble.

## BIBLIOGRAFIA

1. AESPW. "Indoor Air Quality Test Kit", User Manual. Building Performance Division Technology, Arquitectural & Engineering Services Public Works, Canada. May 1989.
2. Alter H.W., Oswald R.A. "Nationwide Distribution of Indoor Radon Measurements: A preliminary Data Base". Journal of the Air Pollution Control Association. 37 (3): 227-231. (1987).
3. Allard P.F. "Project and Problem Definition in Building Air Quality Investigation". Design and Protocol for Monitoring Indoor Air Quality. ASTM STP 1002. N.L. Nagda and J.P. Philadelphia 1989, 73-79.
4. ASHRAE. "Handbook of Fundamentals". American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. 1967.
5. Bravo A.H. "La Contaminación del Aire en México". Colección Medio Ambiente. Fundación Universo Veintiuno, México, 1987.
6. Bravo A.H., Camacho C.R., Perrin G.F., Sosa E.R., Torres J.R. "Indoor Air Pollution Measurements in a Business Building in Mexico City". Paper 89-15.9. 82nd Annual Meeting of the Air & Waste Management Association. Anaheim, Calif. June 25-30, 1989.
7. Bravo A.H., Camacho C.R., Sosa E.R., Torres J.R., Torres J.G. "Indoor Formaldehyde Concentrations in Two Office Buildings in Mexico City". Precedings of the 5th International Conference on Indoor Air and Climate Toronto, Canada. 29 July-August 3 1990. Volume 2. 689-694 pp.
8. Bruno R.C. "Sources of Indoor Radon in Houses: A Review". Journal of the Air Pollution Control Association. 33 (2): 105-109 (1983).
9. Core J.E., Cooper J.A., Neulich R.M. "Current and Projected Impacts of Residential Wood Combustion on Pacific Northwest Air Quality". Journal of the Air Pollution Control Association. 31 (2): 138-143 (1984).
10. Cox B.G., Mage D.T., Inmmerman F.W., "Sample Design Considerations for Indoor Air Exposure Surveys". Journal of the Air Pollution Control Association. 38: 1266-1270 (1988).
11. Crawford W.A., "On Air Pollution Environmental Tobacco Smoke, Radon, and Lung Cancer". Journal of the Air Pollution Control Association. 38 (11): 1386-1391 (1988).
12. EPA. "Atmospheric Sampling". APTI. Course 435 Student Manual, 2nd Edition. EPA 450/2-80-004. 1983a.
13. EPA "Analytical Methods for Air Quality Standars". APTI, Course 464 Student Manual 2nd Edition. EPA 450/2-81-018b. 1983b.

14. EPA. "Compendium of Methods for the Determination of Air Pollutants in Indoor Air". Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory. Environmental Protection Agency. March 1989.
15. Gorman R.W., Wallingford K.M. "The NIOSH Approach to Conducting Indoor Air Quality Investigations in Office Buildings". Design and Protocol for Monitoring Indoor Air Quality, ASTM STP 1002. N.L. Nagda and J.P. Harper Eds., American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1989.
16. Goyer N., Nguyen V.H. "Strategy for Studying Air Quality in Office Buildings". Institute de Recherche en Sante Et En Securite Du Travail Du Quebec (IRSSST). 1989.
17. Hall S.K., Lavite S.A., "Indoor Air Quality of Commercial Buildings". Pollution Engineering. June 1988. 54-59.
18. Hansen T.B., Andersen B., "Ozone and Other Air Pollutants from Photocopying Machines". Journal of the American Industrial Association (47): 659-665. October 1986.
19. Hawtorne A., Matthews T., Vo-Dinh T., "Measurements Techniques". Indoor Air Quality. P. Walsh, Ch. Dudley, E. Copenhagen Editors. CRC Press. Inc 6th Printing 1989.
20. Kreyszig E., "Introducción a la Estadística Matemática Principios y Métodos". Editorial Limusa, 1983.
21. Lebowitz M.D., Quackenboss J., Soczek M.L., Kollander M., Colome S. "The New Standard Environmental Inventory Questionnaire for Estimation of Indoor Concentrations". Journal of the Air Pollution Control Association. 39: 1411-1419. (1989).
22. Lewis R.G. "Development and Evaluation of Instrumentation for Measurement of Indoor Air Quality". Proceedings of the 8th World Clean Air Congress. The Hague, The Netherlands, 11-15 September 1989. Volume 1. Elsevier Science Publishers B.V. 311-316.
23. Lewis R.G., Wallace L. "Workshop: Instrumentation and Methods for Measurement of Indoor Air Quality and Related Factors". Design and Protocol for Monitoring Indoor Air Quality, ASTM STP 1002. N.L. Nagda and J.P. Harper Eds., American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1989. pp. 219-233.
24. Lodge J.P. "Methods of Air Sampling and Analysis". 3rd Edition. Intersociety Committee. APCA. ACS. AICHE, APWA, ASME, ADAC, HPS, ISA. Lewis Publishers, Inc. 1989.
25. Masahiro H., Takashi T., Koichi I., Takeiro T. "Air Quality Indication Factors in Office and Its Monitoring". Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air and Climate Toronto, Canada. 29 July-3 August 1990. Volume 4, 27-32.

26. Meijer W., Kleinjans J., Swagemakers J. "Development of a Protocol for Research on Indoor Air Quality Problems. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress. The Hague, the Netherlands. 11-15 September 1989. Volume 1. Elsevier Science Publishers B.V. 311-316.
27. Meyer B., Hermanns K. "Formaldehyde Release from Pressed Wood Products". Formaldehyde. Analytical Chemistry and Toxicology. V. Turosky Editor. Developed from a Symposium Sponsored by the American Chemical Society. St. Louis, Missouri. April 1984. 8-13.
28. Meyer B., Hermanns K. "Reducing Indoor Air Formaldehyde Concentrations". Journal of the Air Pollution Control Association. 35 (8): 816-821. (1985).
29. MNHWM. "Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality". A Report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Minister of National Health and Welfare, Canada. April 1987.
30. Montgomery D.C. "Design and Analysis of Experiments". 2 Ed., Wiley, 1984.
31. Mutis G.H.E. "HERMUT". Programa de Computación. Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. U.N.A.M.
32. Nero A.V., "Controlling Indoor Air Pollution". Scientific American. 258 (5): 42-48 (1988).
33. Obermaier R., Muller H., Zingsheim T., Rohbock E., "Air Quality in Air Conditioned Public Buildings". Proceedings of the 8th World Clean Air Congress, The Hague, The Netherlands, 11-15 September 1989. Volume 1. Elsevier Science Publishers B.V. 311-316.
34. OSHA. "Indoor Air Quality Investigations". OSHA Instruction CPL 2-2.20B, 1990.
35. Rafferty P.J., Weston R.F., "A Protocol for Initial Investigations of Indoor Air Quality". Paper number 89-85.4. 82nd Annual Meeting & Exhibition of the Air and Waste Management Association. June 25-30. 1989. Anaheim, Calif.
36. Rosenfeld A.H., Hafemeister D., "Energy-Efficient Buildings". Scientific American. 258 (4): 78-85 (1988).
37. Statistical Graphics Corporation. "STATGRAPHICS". Statistical Graphics System. Version 1. Serial Number 208527. 1985.
38. Threlkeld J.L. "Ingenieria del Ambito Térmico". Editorial Prentice/Hall International. 1973.
39. Tichenor B.A., Mason M.A.. "Organic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the Indoor Environment". Journal of the Air Pollution Control Association. 38 (3): 264-268 (1988).



40. Wadden R. A., Scheff P.A. "Contaminación del Aire en Interiores". Editorial Limusa. México 1987.
41. Wallace L.A., "The Sick Building Syndrom: A Review". Paper Number 88-110.6. 81st Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. June 19-24 1988. Dallas, Texas.
42. Woods J.E., Morey P.R., Rask D.R., "Indoor Air Quality Diagnostics: Qualitative and Quantitative Procedures to Improve Environmental Conditions". Design and Protocol for Monitoring Indoor Air Quality. ASTM STP 1002. N.L. Nagda and J. P. Harper Eds. American Society for Testing and Materials. Philadelphia 1989. 80-97.
43. Yocom J.E., "Indoor-Outdoor air quality relationships. A critical review". Journal of the Air Pollution Control Association. 32 (5):500-520 (1982).

A P E N D I C E    A

GRAFICAS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION  
DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO

CO CONCENTRACIONES  
PLANTA BAJA A

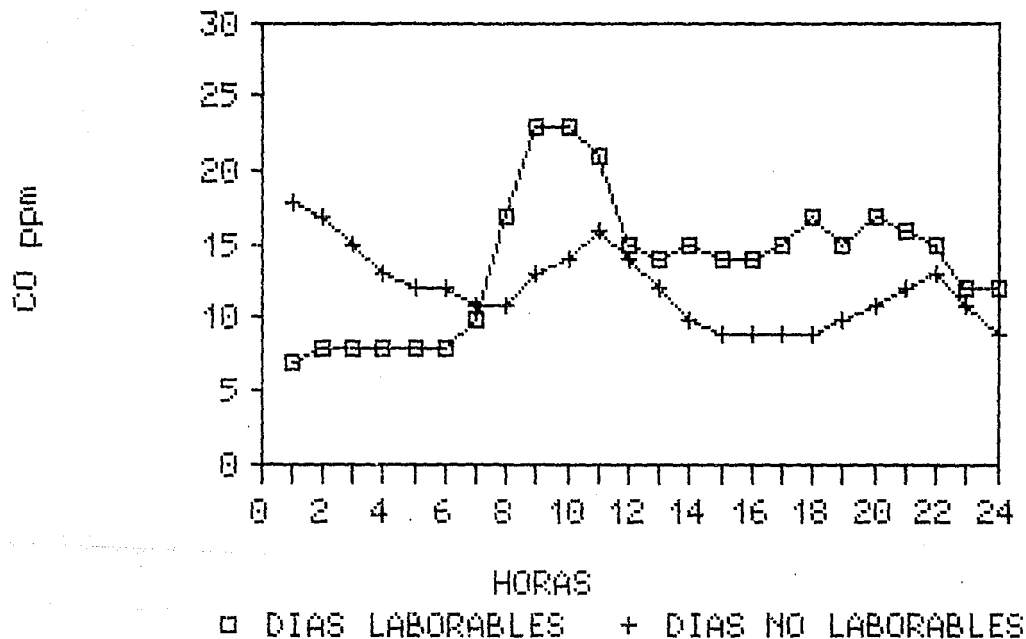


Figura A-1 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la Planta Baja (Sitio A).

CO CONCENTRACIONES  
PLANTA BAJA B

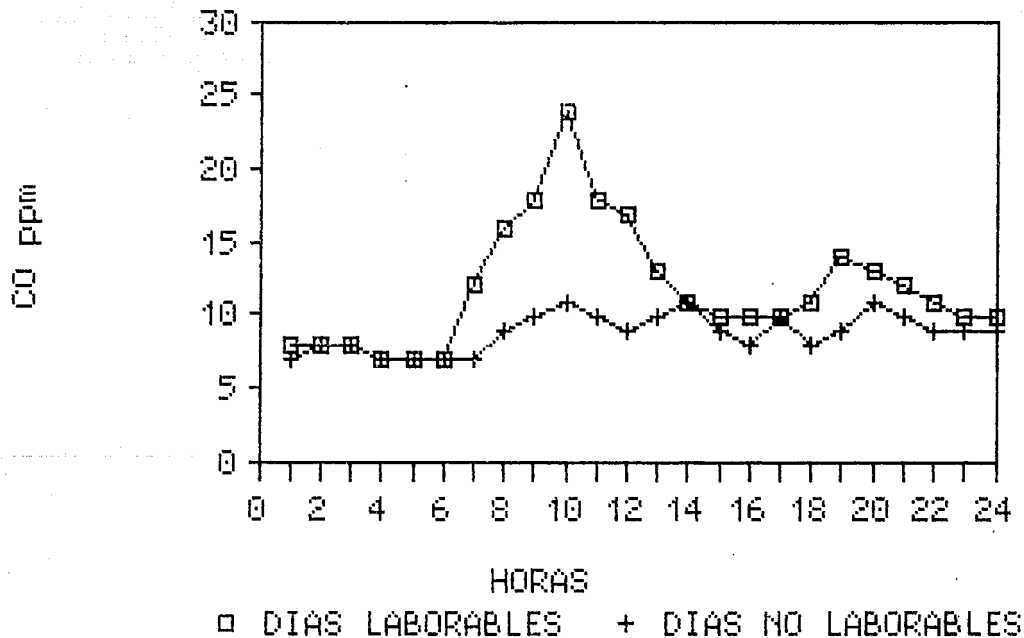
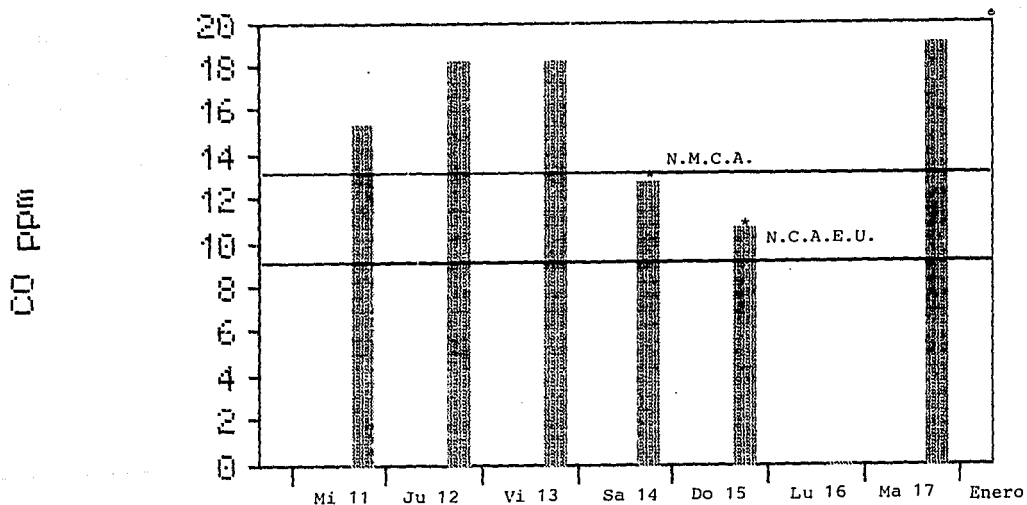


Figura A-2 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la Planta Baja (Sitio B).

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



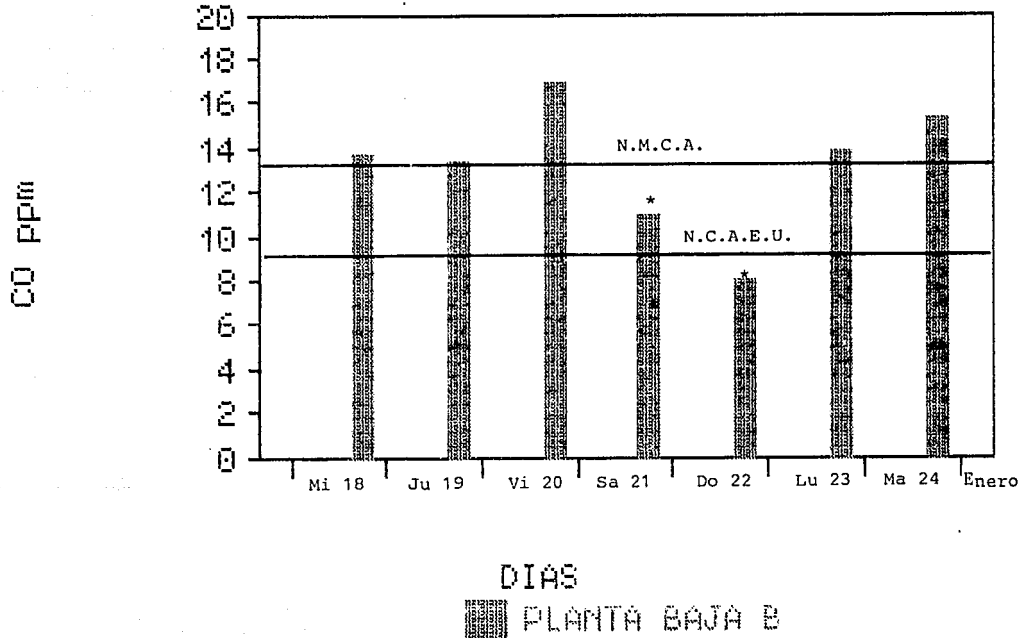
DIAS

PLANTA BAJA A

N.M.C.A. = Norma Mexicana de Calidad del Aire  
N.C.A.E.U. = Norma de Calidad del Aire de los Estados Unidos  
\* = Días no laborables

Figura A-3 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en la Planta Baja (Sitio A)

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



N.M.C.A. = Norma Mexicana de Calidad del Aire  
 N.C.A.E.U. = Norma de Calidad del Aire de los Estados Unidos  
 \* = Días no laborables

Figura A-4 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en la Planta Baja (Sitio B).

COHS

### COEFICIENTE DE SUCIEDAD PLANTA BAJA A

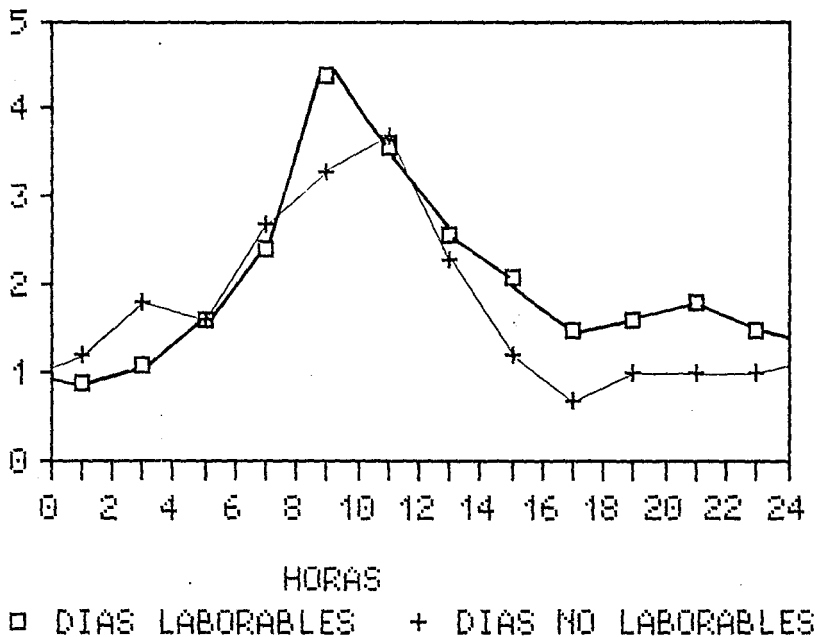


Figura A-5 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en la Planta Baja (Sitio A).

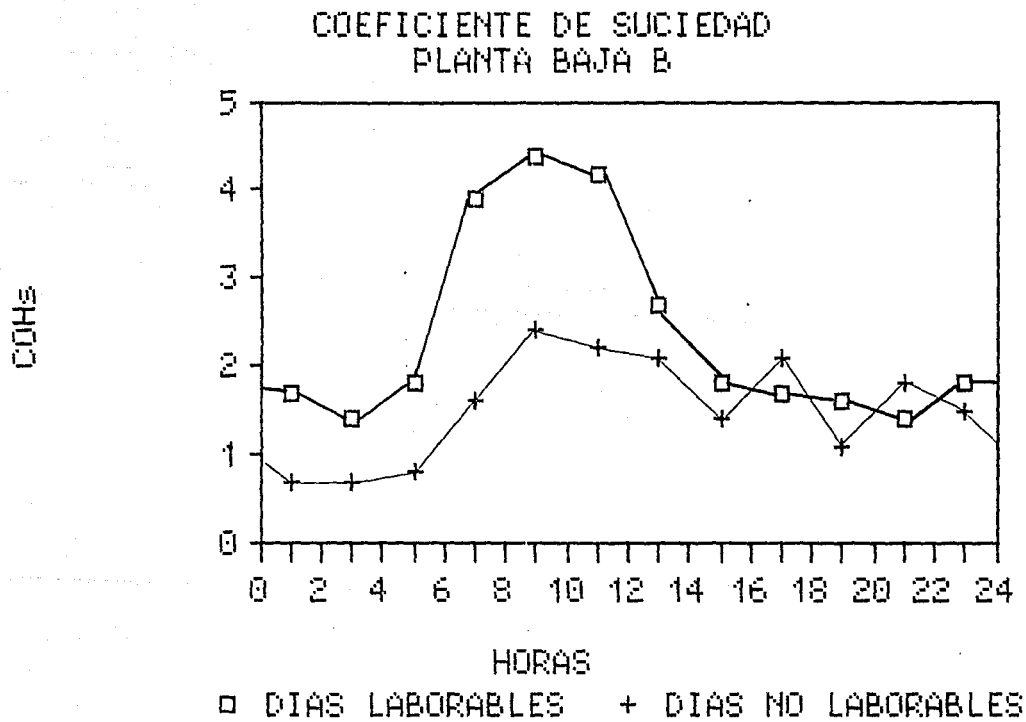
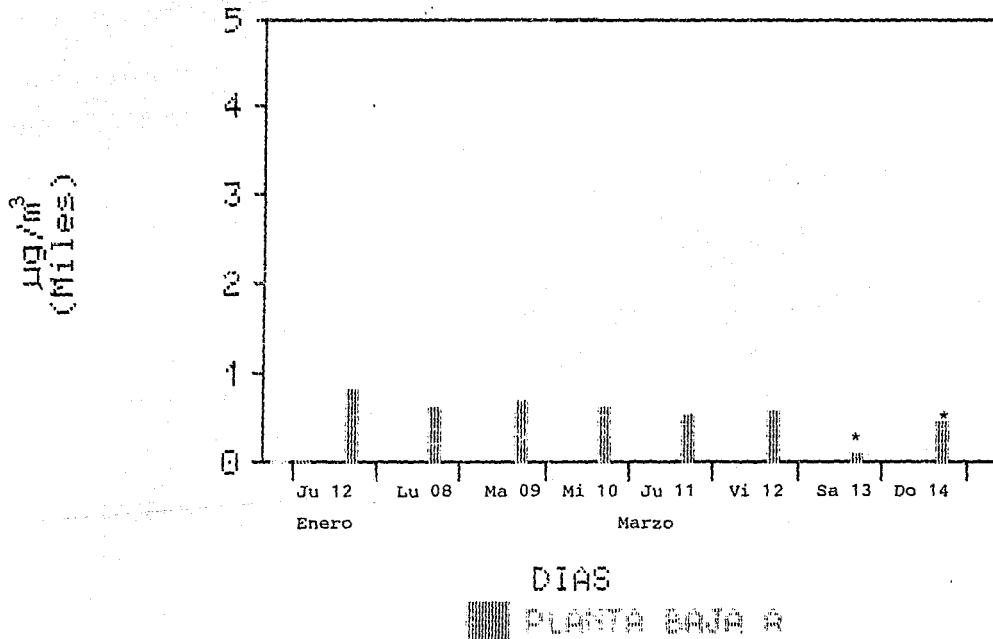


Figura A-6 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en la Planta Baja (Sitio B).



PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS

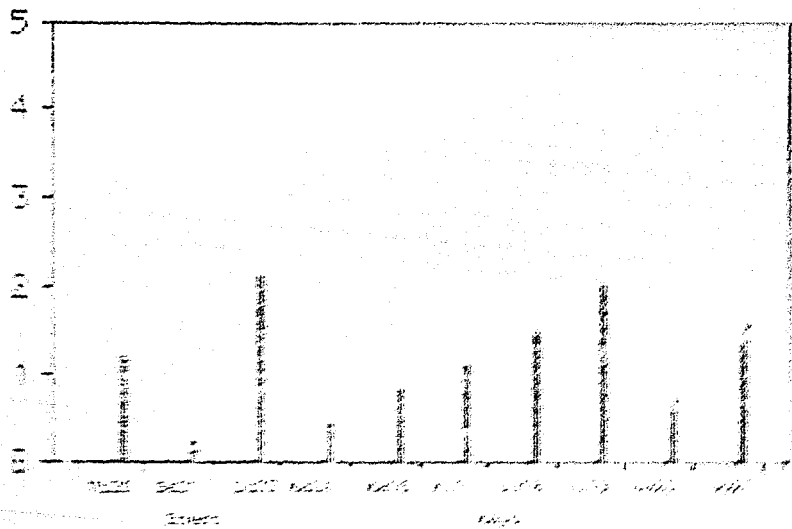


\* = Días no laborables.

Figura A-7 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en la Planta Baja (Sitio A).

# PARTICULAS INHALABLES 8 HORAS

10/1/76  
 (14105)



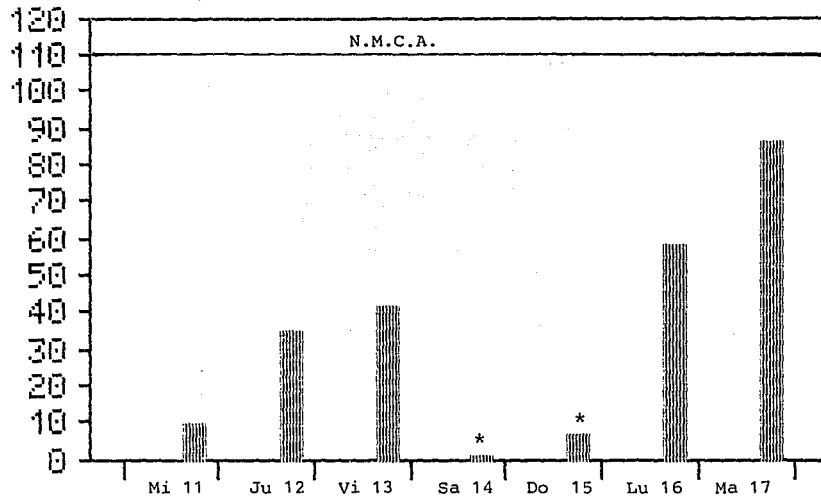
100



Este informe es propiedad de la empresa y no debe ser distribuido fuera de ella sin el consentimiento expreso de la misma.

O<sub>3</sub> ppb

### O<sub>3</sub> CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



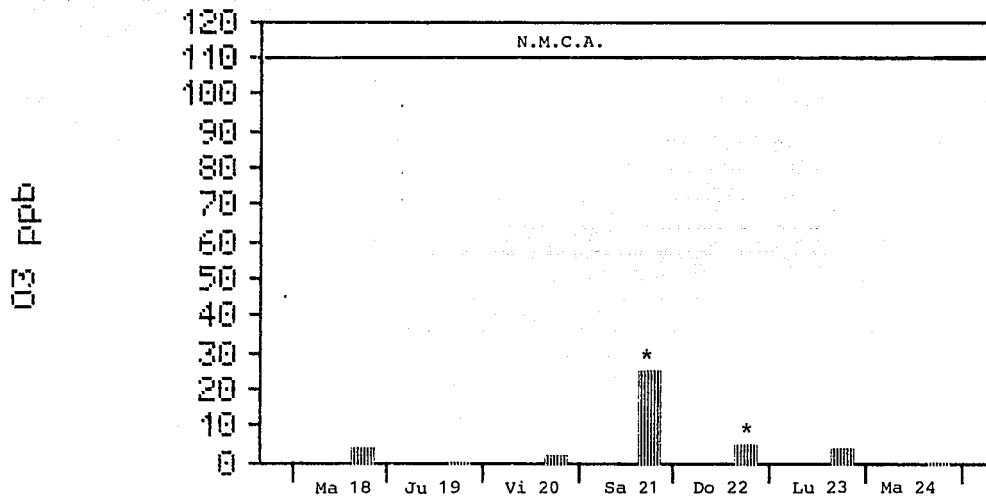
DIAS

PLANTA BAJA A

N.M.C.A. = Norma Mexicana de Calidad del Aire

Figura A-9 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Planta Baja (Sitio A).

# O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



PLANTA BAJA B

N.M.C.A. = Norma Mexicana de Calidad del Aire

Figura A-10 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Planta Baja (Sitio B).

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS

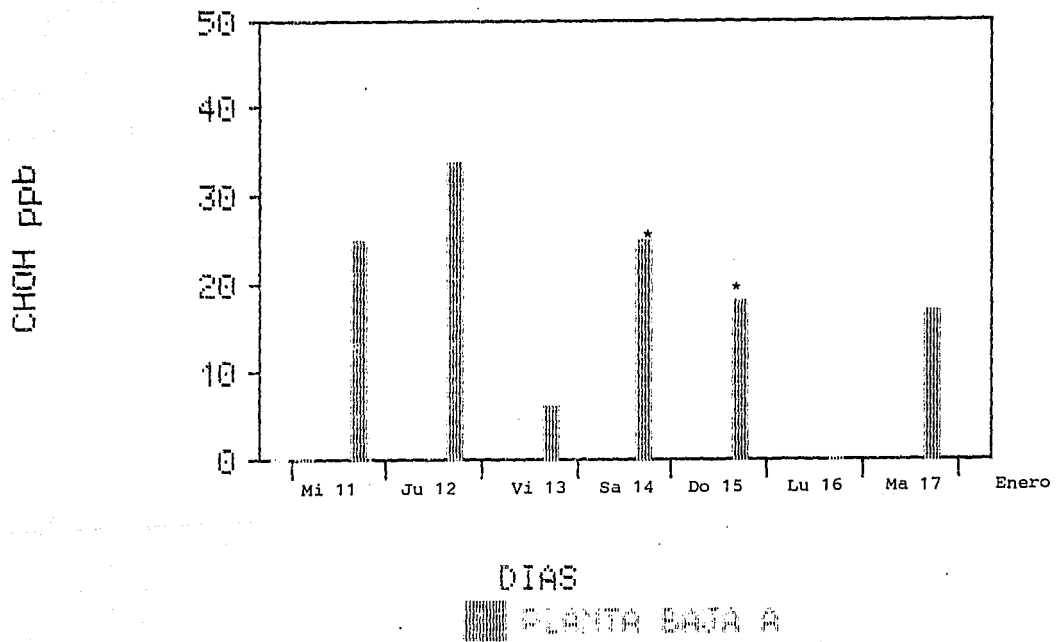


Figura A-11 Concentraciones de formaldehido promedio de 8 horas en la Planta Baja (Sitio A).

CHOH CONCENTRACIONES  
8 HORAS

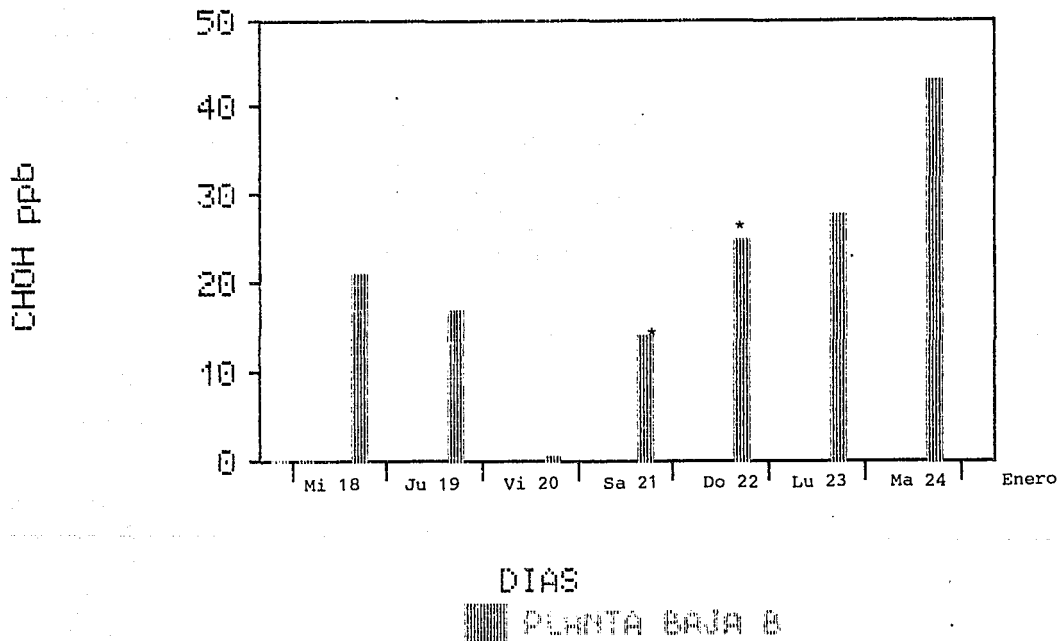


Figura A-12 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en la Planta Baja (Sitio B).

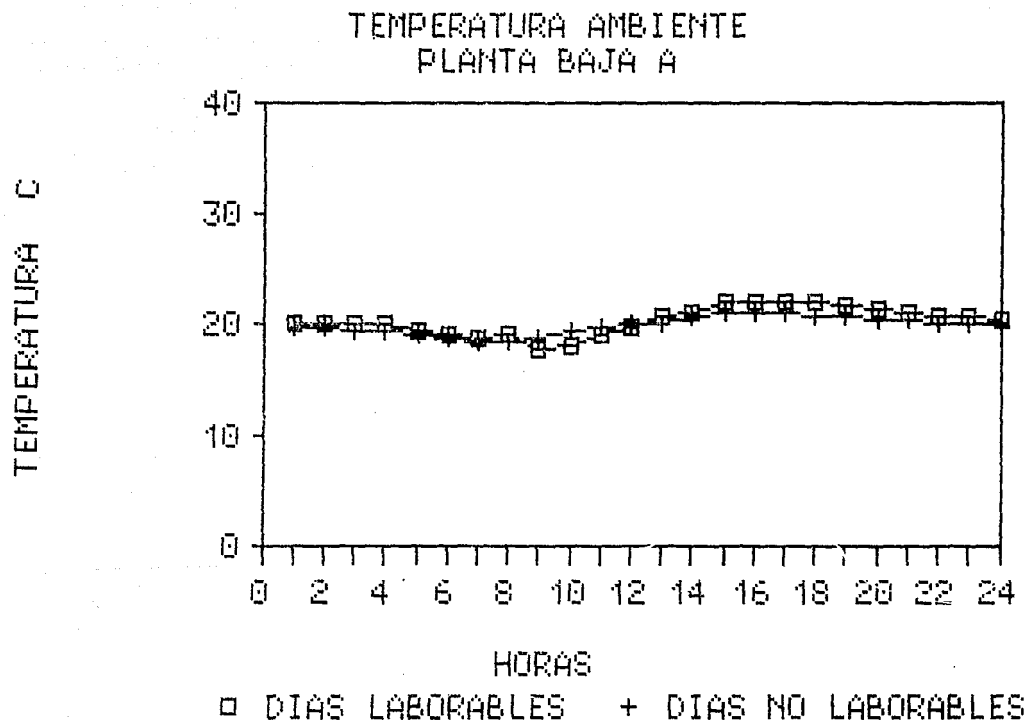


Figura A-13 Temperatura ambiente en la Planta Baja (Sitio A).

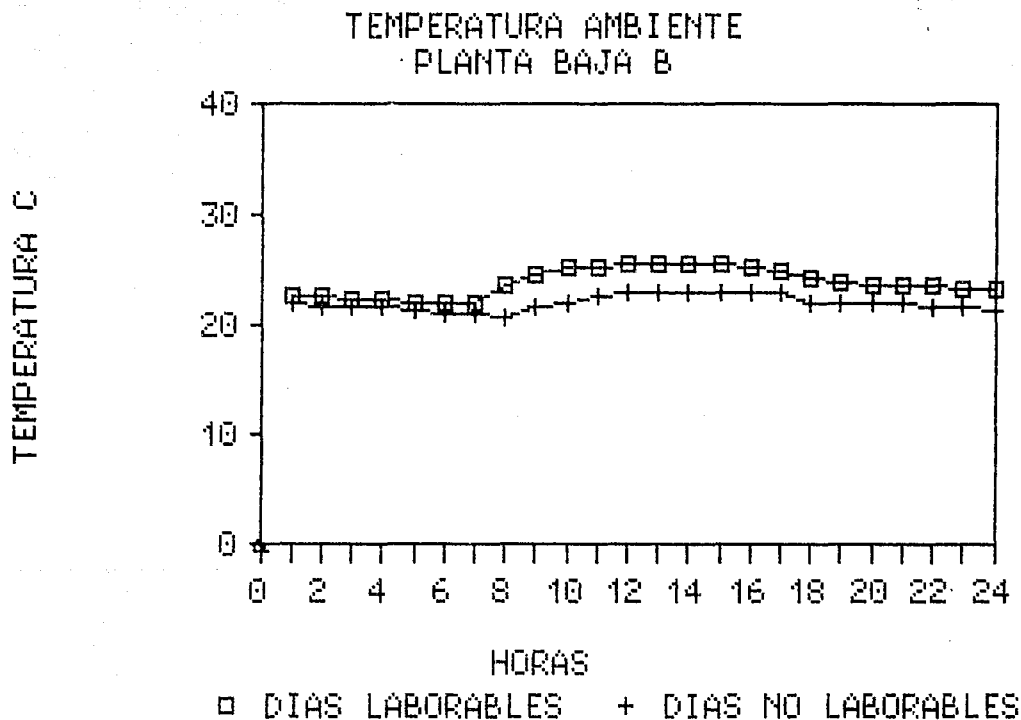


Figura A-14 Temperatura ambiente en la Planta Baja (Sitio B).



HUMEDAD RELATIVA

### HUMEDAD RELATIVA PLANTA BAJA A

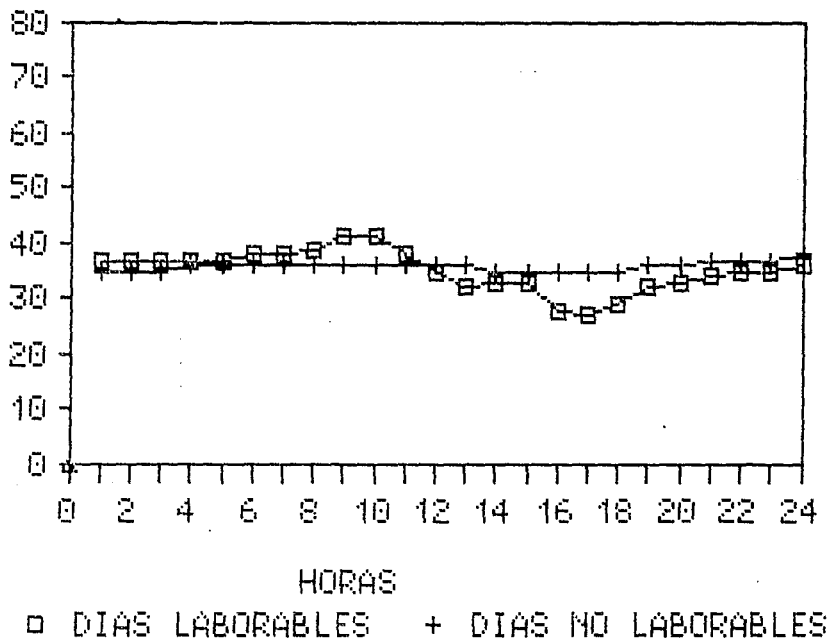


Figura A-15 Humedad relativa en la Planta Baja (Sitio A).

HUMEDAD RELATIVA

### HUMEDAD RELATIVA PLANTA BAJA B

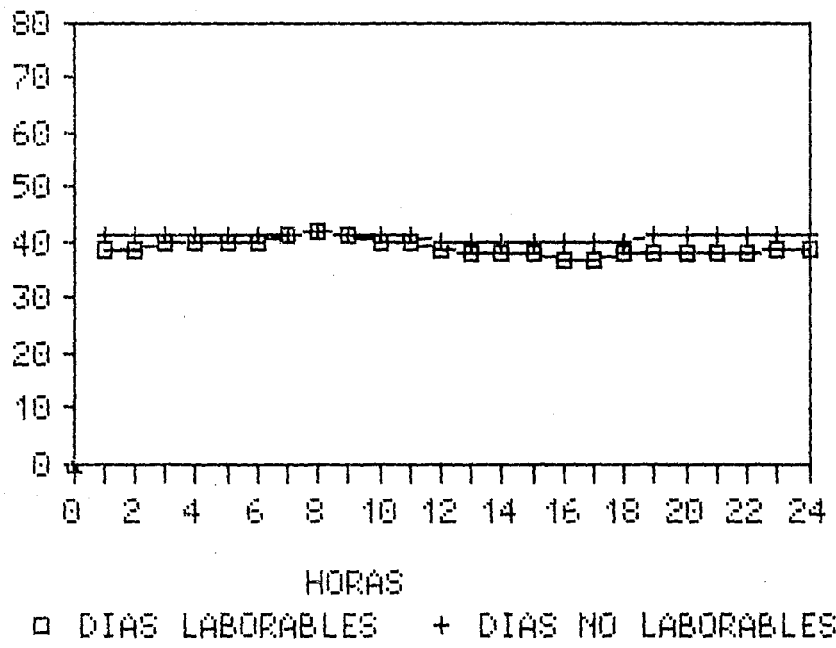


Figura A-16 Humedad relativa en la Planta Baja (Sitio B).

CO CONCENTRACIONES  
PRIMER PISO A

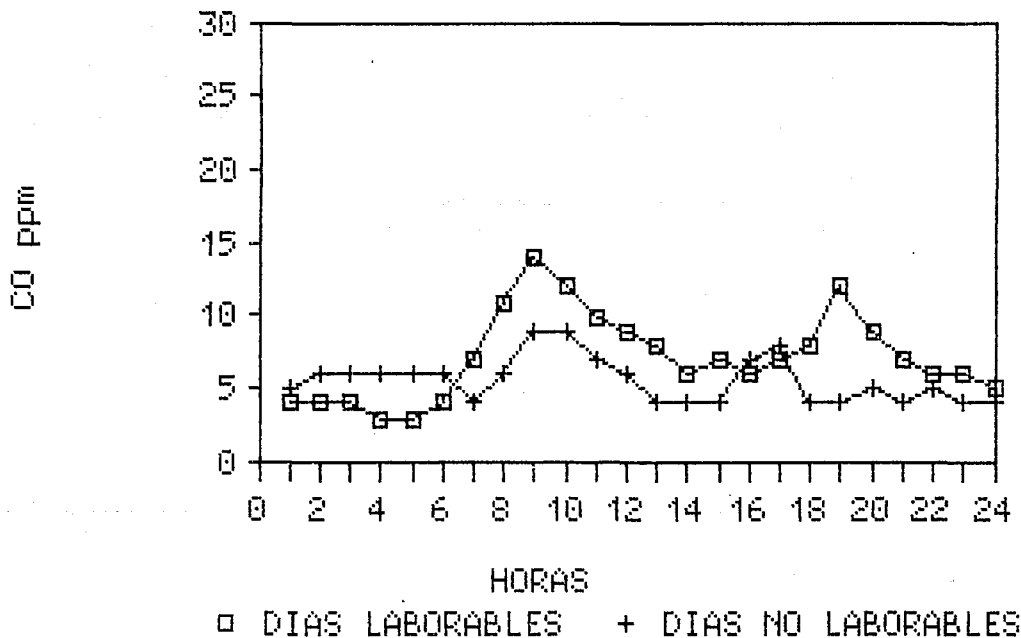


Figura A-17 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Primer Piso (Sitio A).

CO CONCENTRACIONES  
PRIMER PISO B

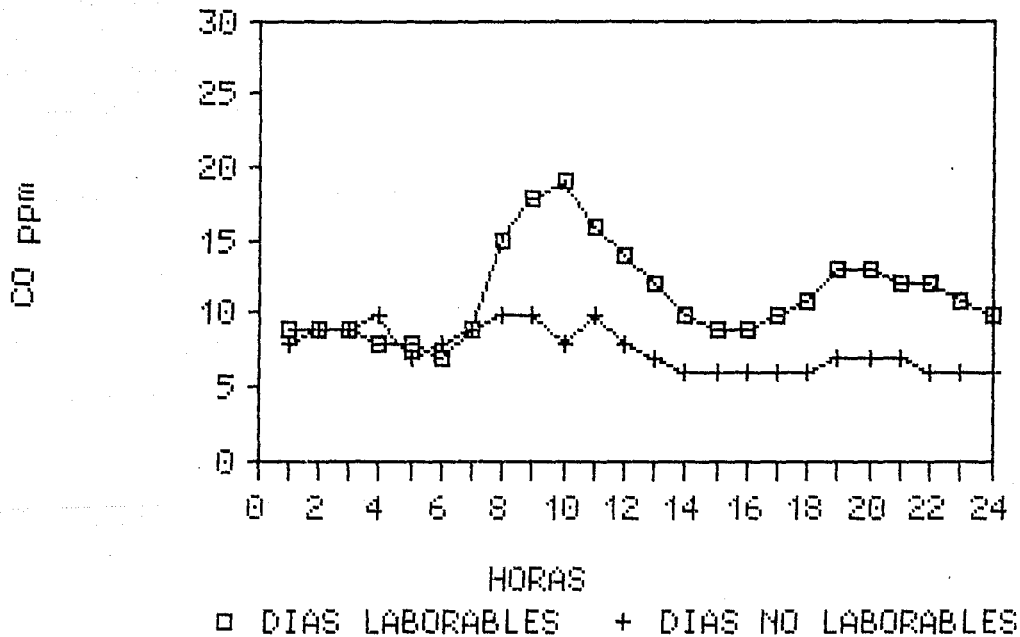


Figura A-18 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Primer Piso (Sitio B).

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS

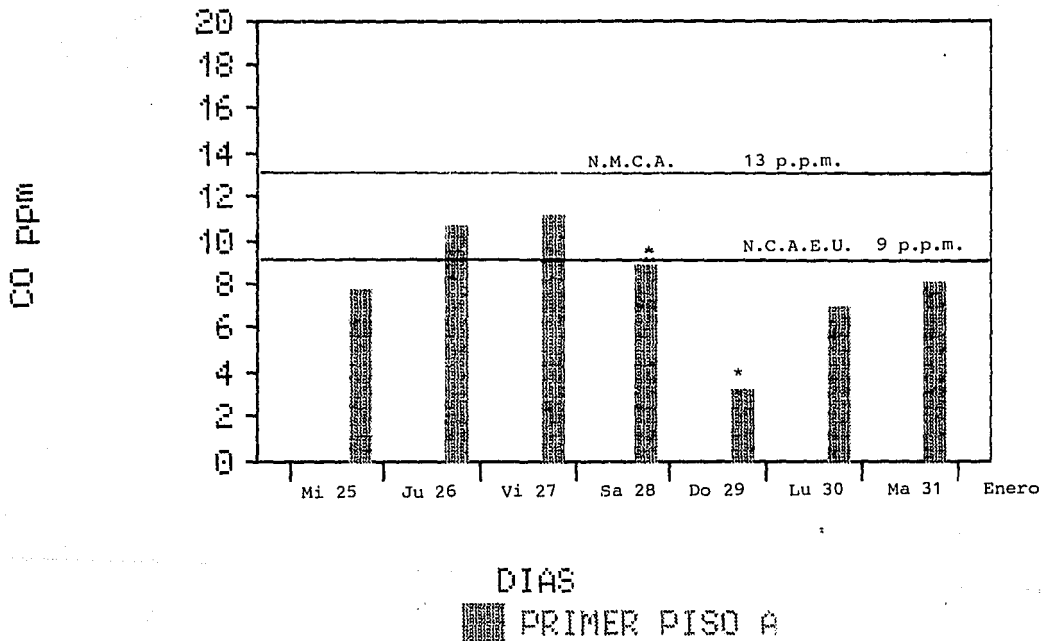


Figura A-19 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Primer Piso (Sitio A).

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS

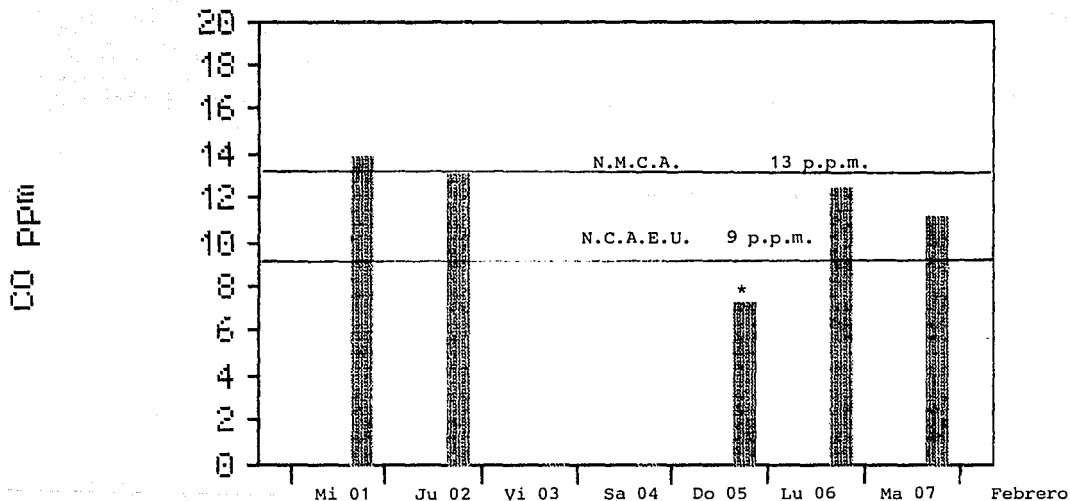


Figura A-20 Concentraciones de monóxido de carbono en 8 horas en el Primer Piso (Sitio B).

COHS

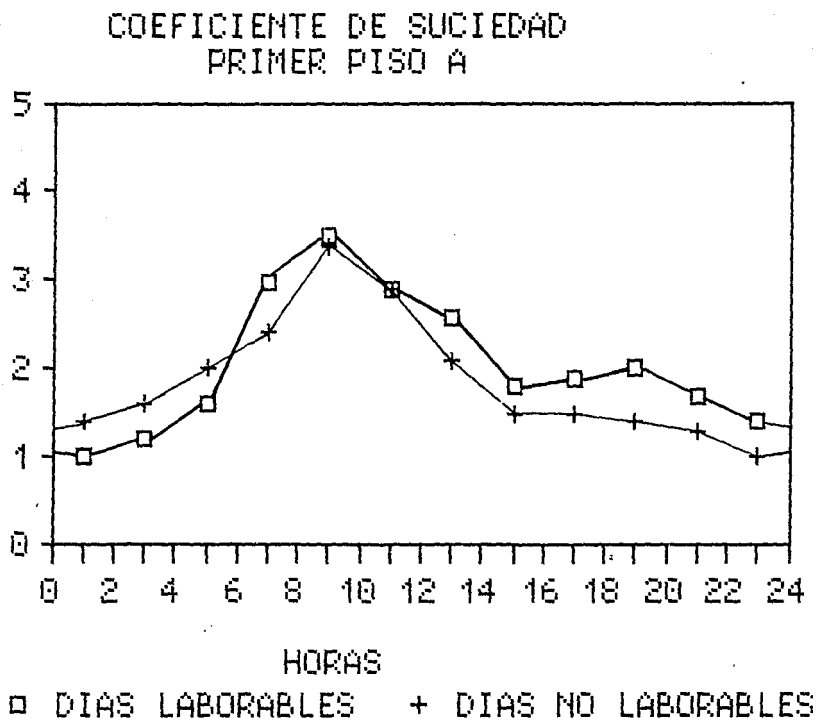


Figura A-21 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Primer Piso (Sitio A).

COEFICIENTE DE SUCIEDAD  
PRIMER PISO B

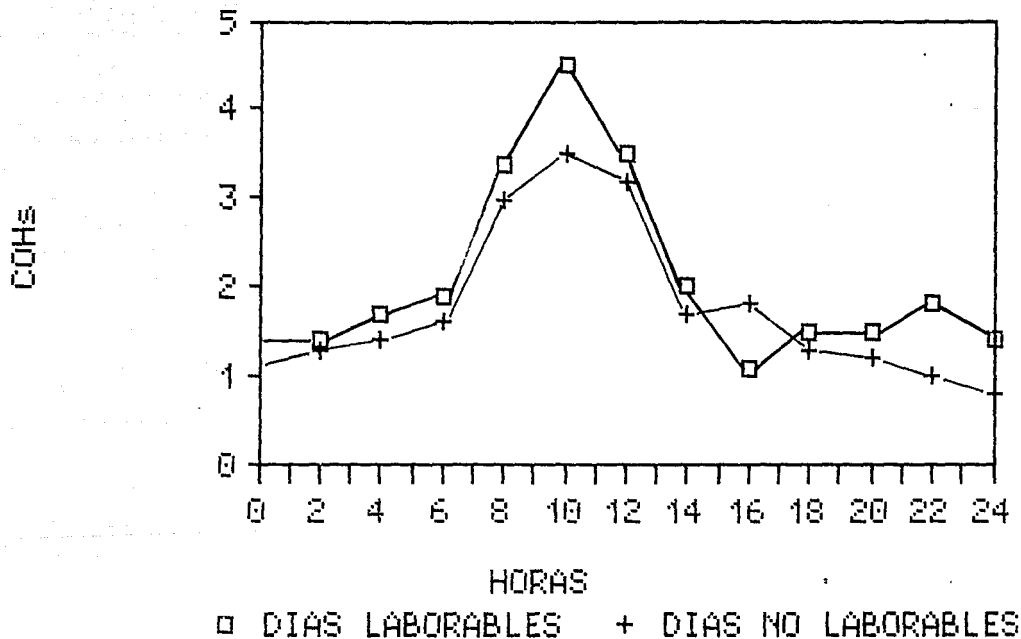
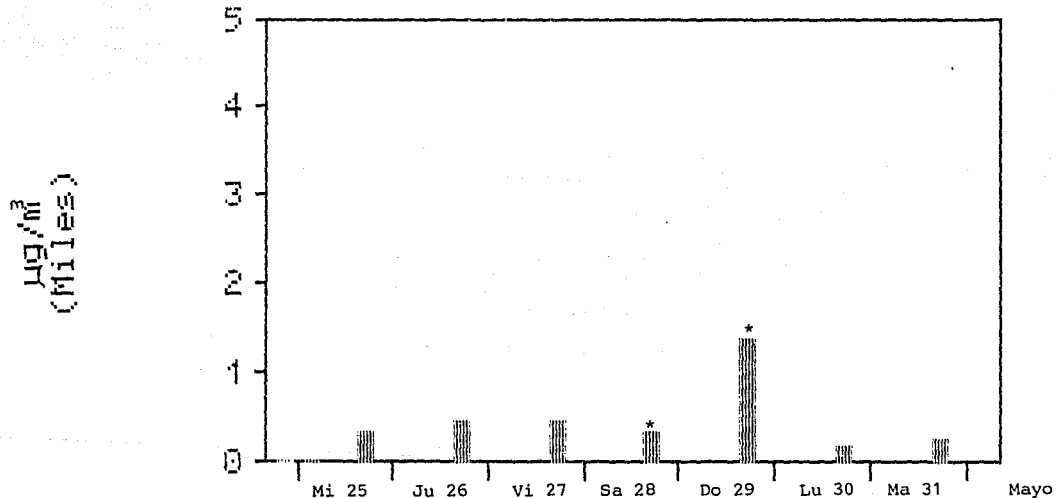


Figura A-22 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Primer Piso (Sitio B).



PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS



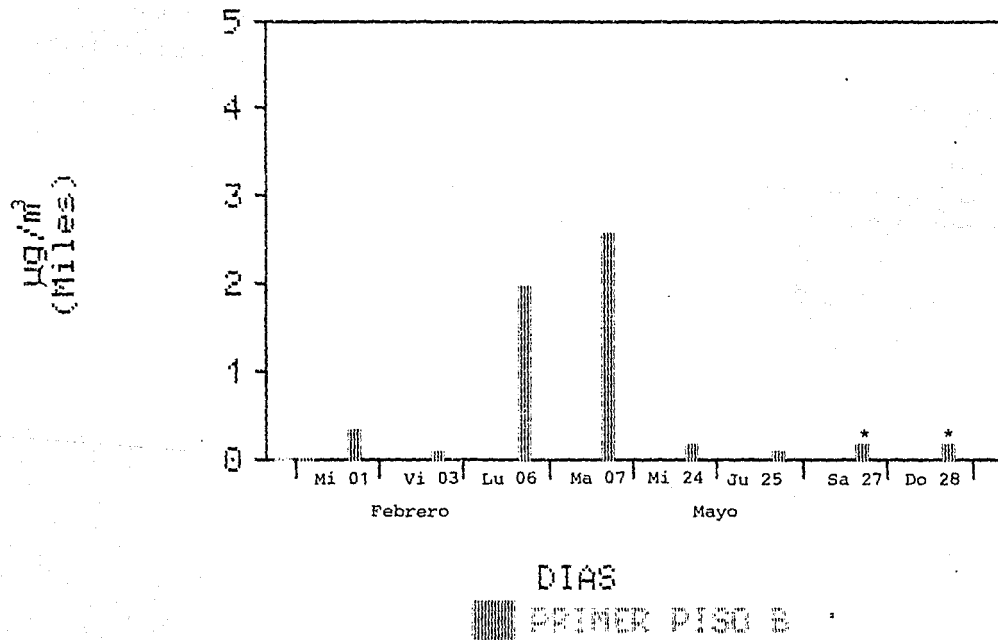
DIAS

PRIMER PISO A

\* = Días no laborables

Figura A-23 Concentraciones de partículas inhalables en 8 horas en el Primer Piso (Sitio A).

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS

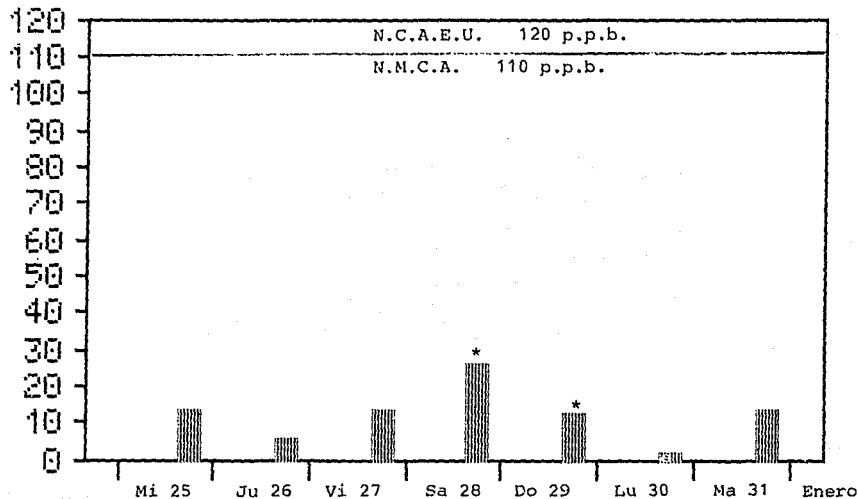


\* = Días no laborables.

Figura A-24 Concentraciones de partículas inhalables en promedio de 8 horas en el Primer Piso (Sitio B).

## O3 CONCENTRACIONES MÁXIMO HORARIO

O3 ppb



DIAS

PRIMER PISO A

N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad de aire

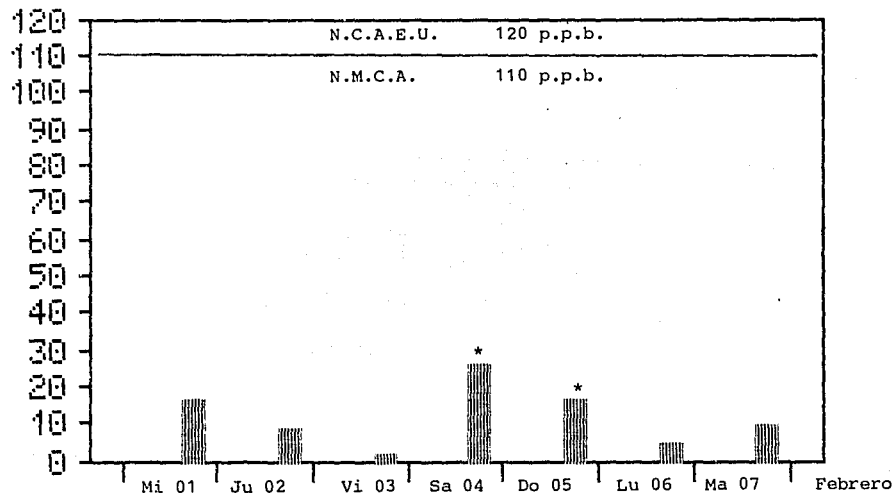
N.C.A.E.U. = Norma de calidad de aire de los Estados Unidos

\* = Días no laborables

Figura A-25 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Primer Piso (Sitio A).

## O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO

O3 ppb



DIAS

▨ PRIMER PISO B

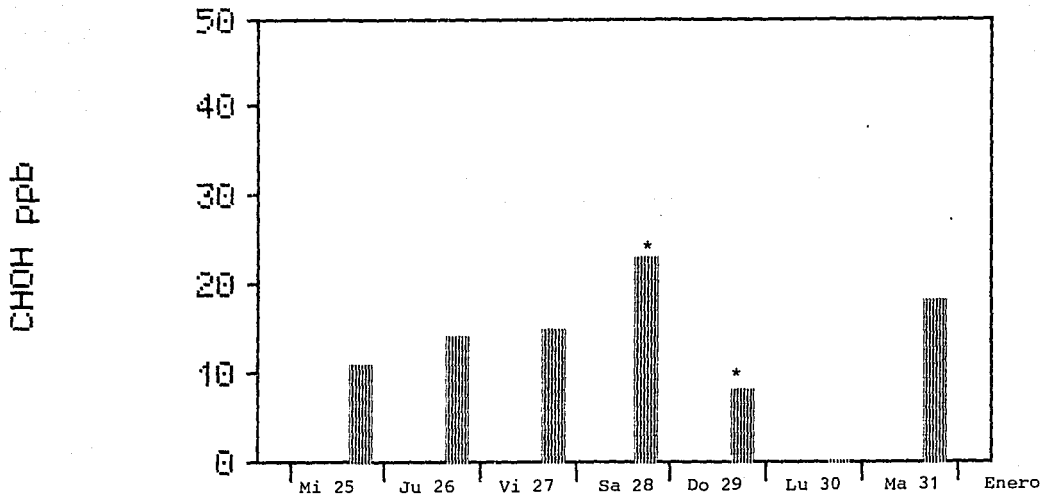
N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad de aire

N.C.A.E.U. = Norma de calidad de aire de los Estados Unidos

\* = Días no laborables

Figura A-26 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Primer Piso (Sitio B).

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS

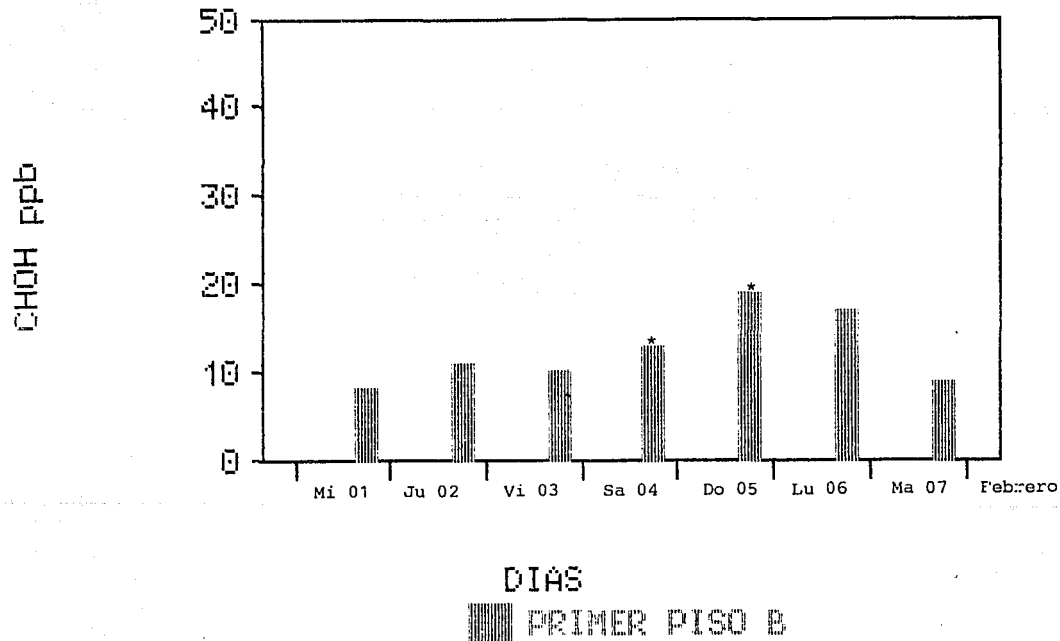


DIAS  
PRIMER PISO A

\* = Días no laborables

Figura A-27 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Primer Piso (Sitio A).

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS



\* = Días no laborables

Figura A-28 Concentraciones de formaldehído en 8 horas promedio en el Primer Piso (Sitio B).

TEMPERATURA C

### TEMPERATURA AMBIENTE PRIMER PISO A

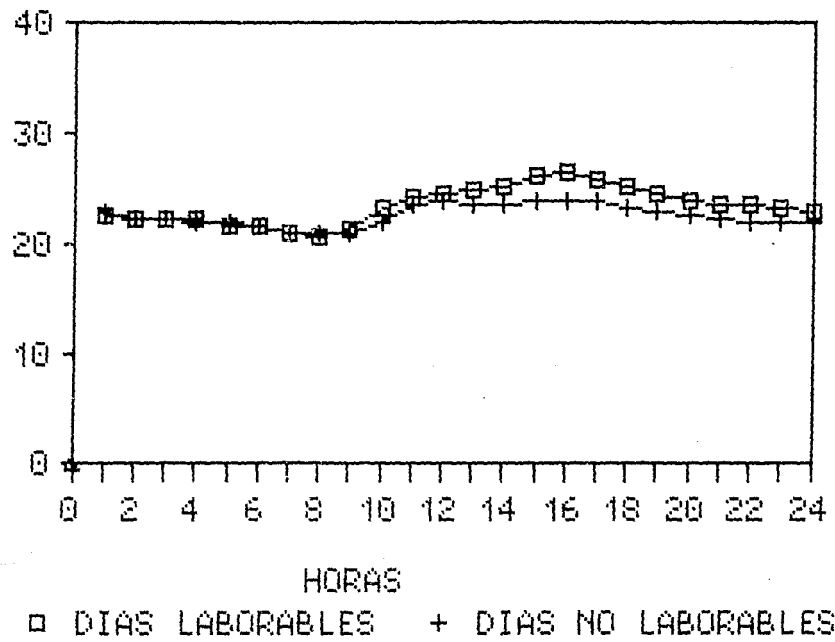


Figura A-29 Temperatura ambiente en el Primer Piso (Sitio A).

TEMPERATURA AMBIENTE  
PRIMER PISO B

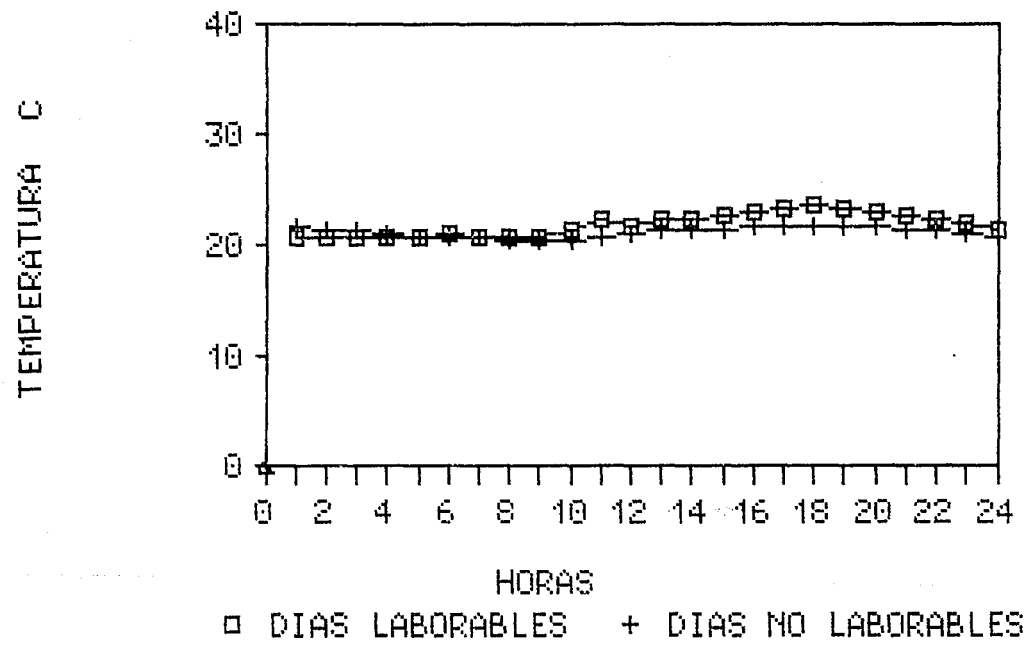


Figura A-30 Temperatura ambiente en el Primer Piso (Sitio B).



HUMEDAD RELATIVA  
PRIMER PISO A

HUMEDAD RELATIVA

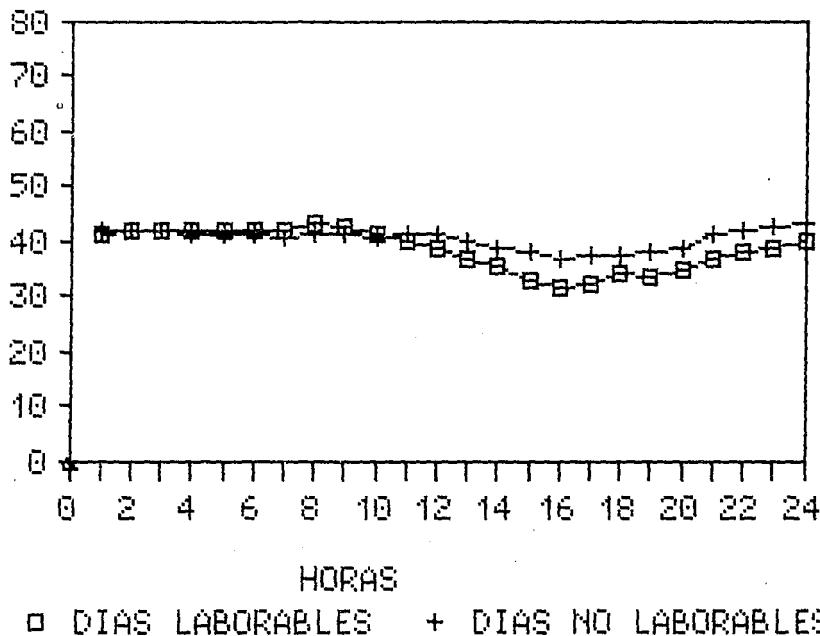


Figura A-31 Humedad relativa en el Primer Piso (Sitio A).

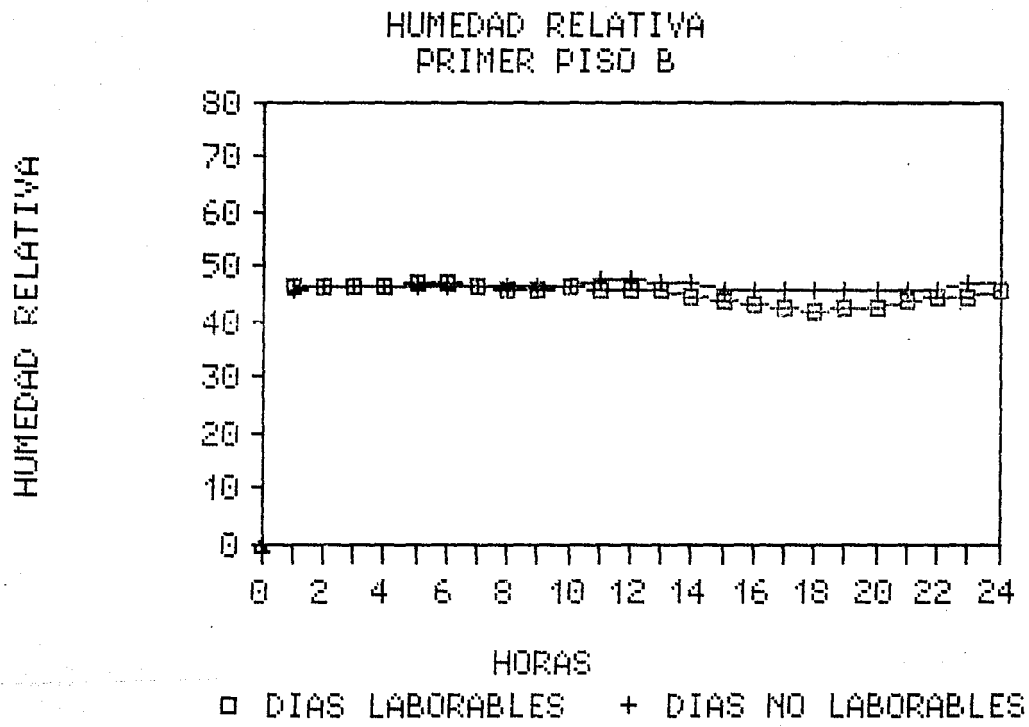


Figura A-32 Humedad relativa en el Primer Piso (Sitio B).

CO CONCENTRACIONES  
SEGUNDO PISO

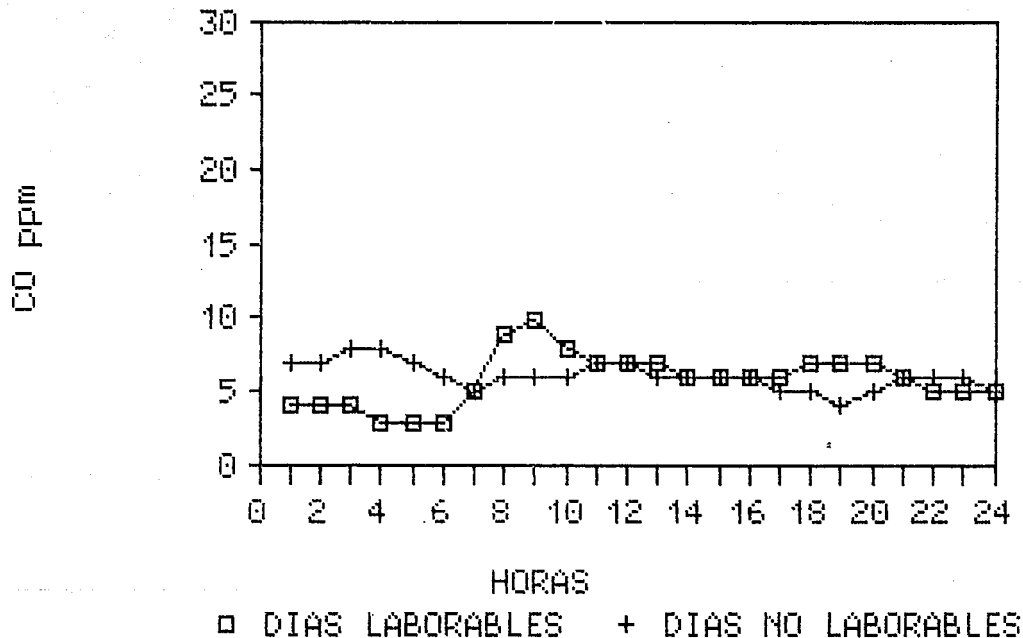
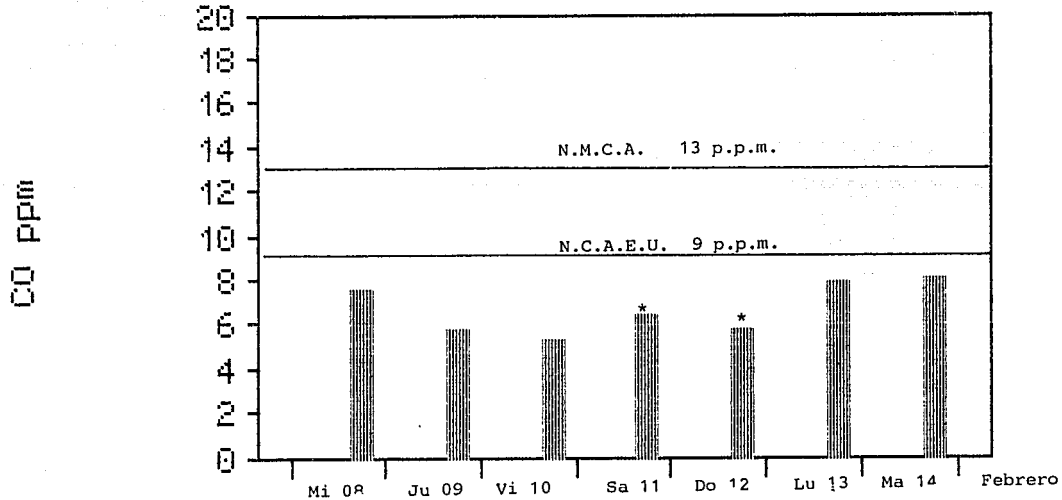


Figura A-33 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Segundo Piso.

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS

SEGUNDO PISO

\* = Dias no laborables

Figura A-34 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Segundo Piso.

### COEFICIENTE DE SUCIEDAD SEGUNDO PISO

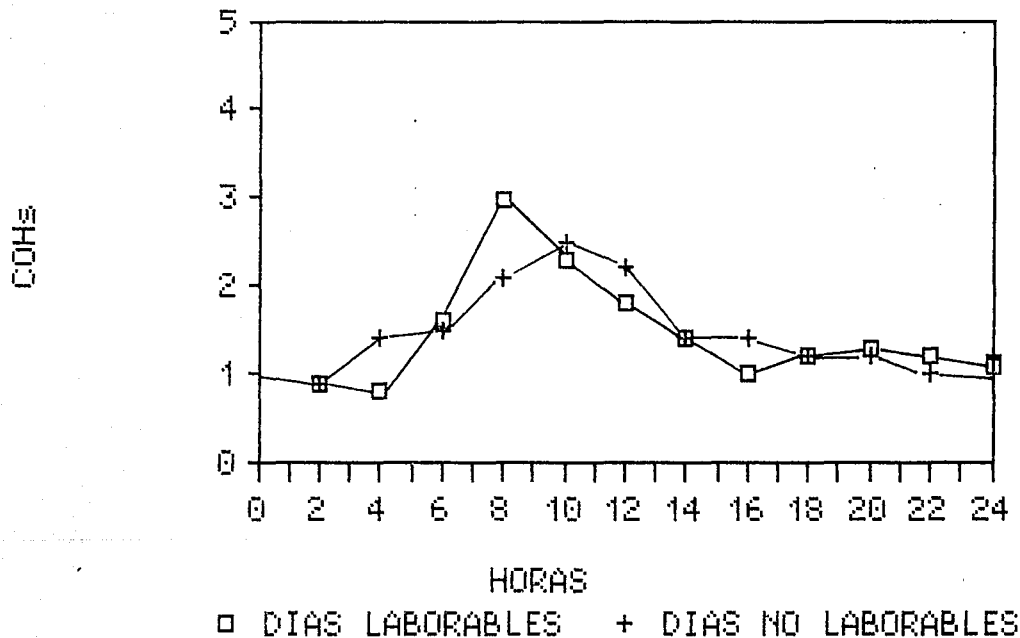
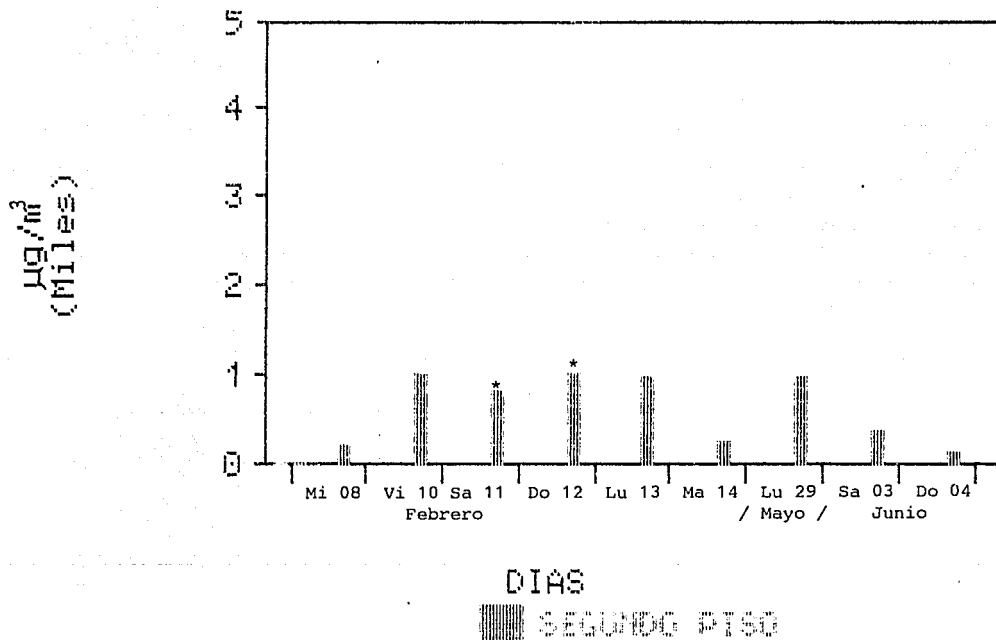


Figura A-35 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Segundo Piso.

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS

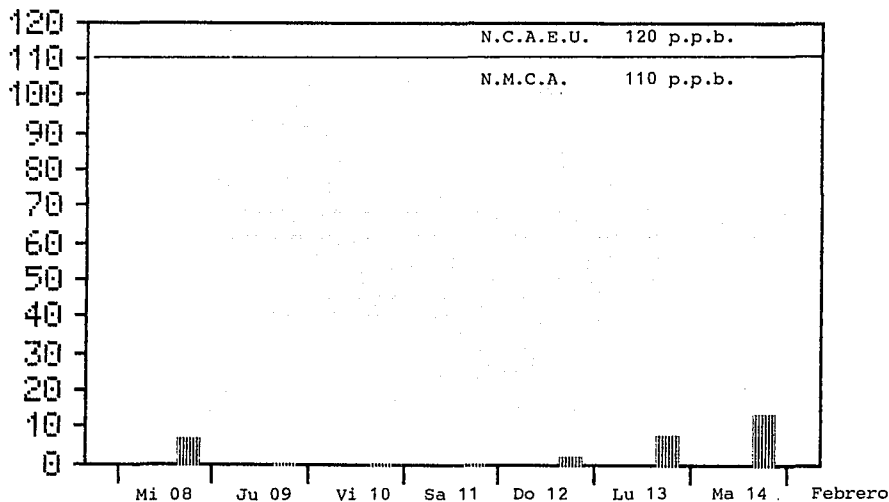


\* = Días no laborables.

Figura A-36 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Segundo Piso.

## O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO

O3 ppb



### DIAS SEGUNDO PISO

N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad del aire  
 N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos  
 \* = Días no laborables

Figura A-37 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Segundo Piso.

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS

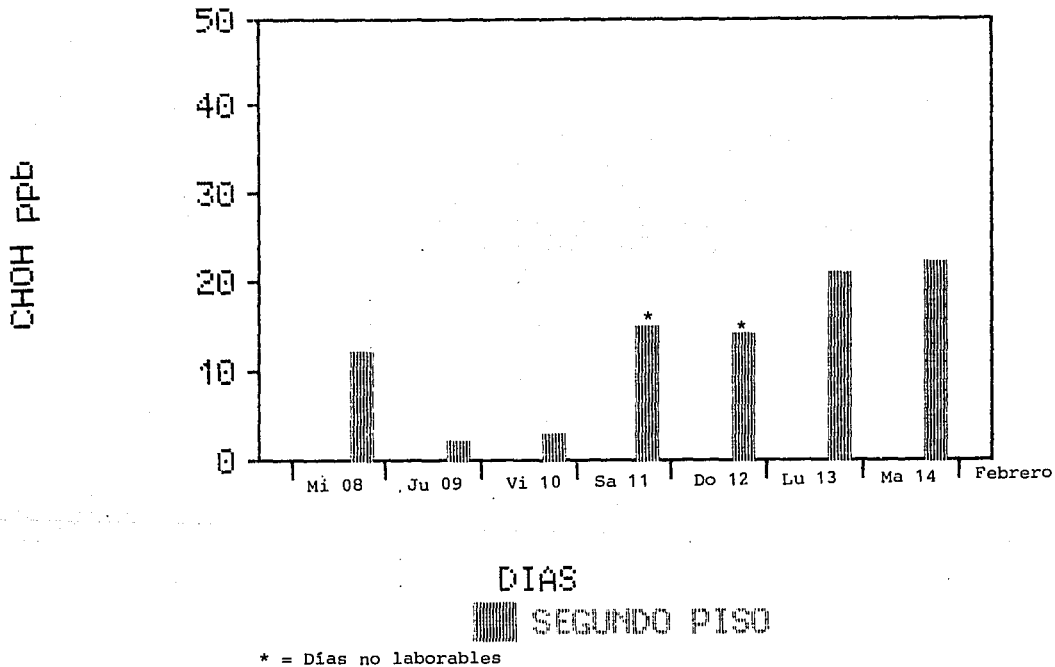


Figura A-38 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Segundo Piso.



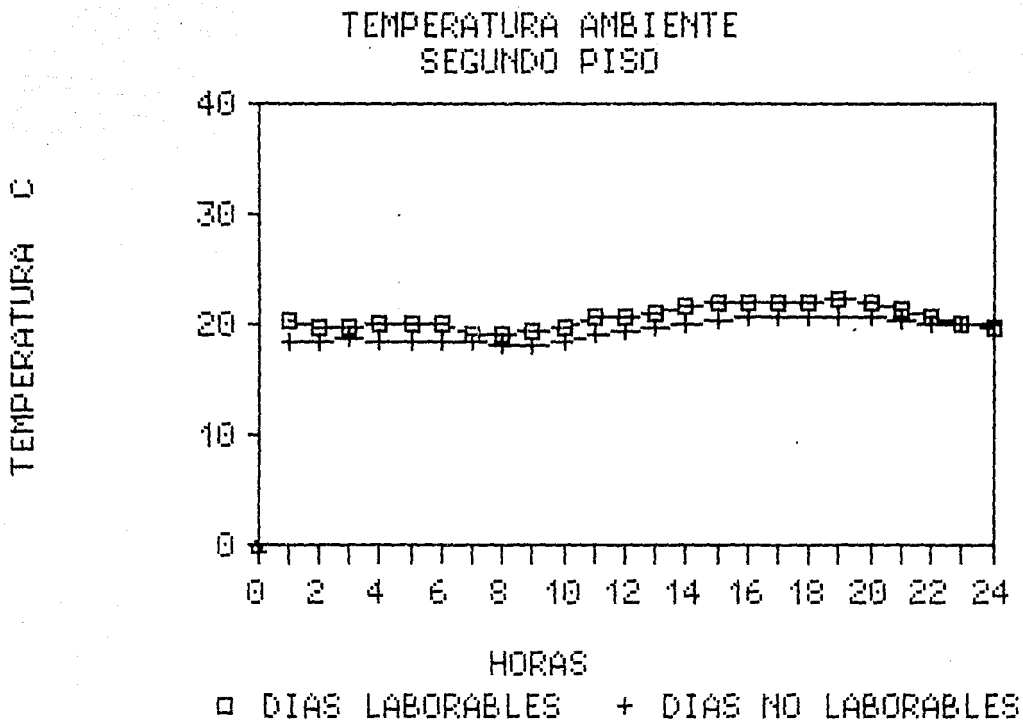


Figura A-39 Temperatura ambiente en el Segundo Piso.

HUMEDAD RELATIVA

### HUMEDAD RELATIVA SEGUNDO PISO

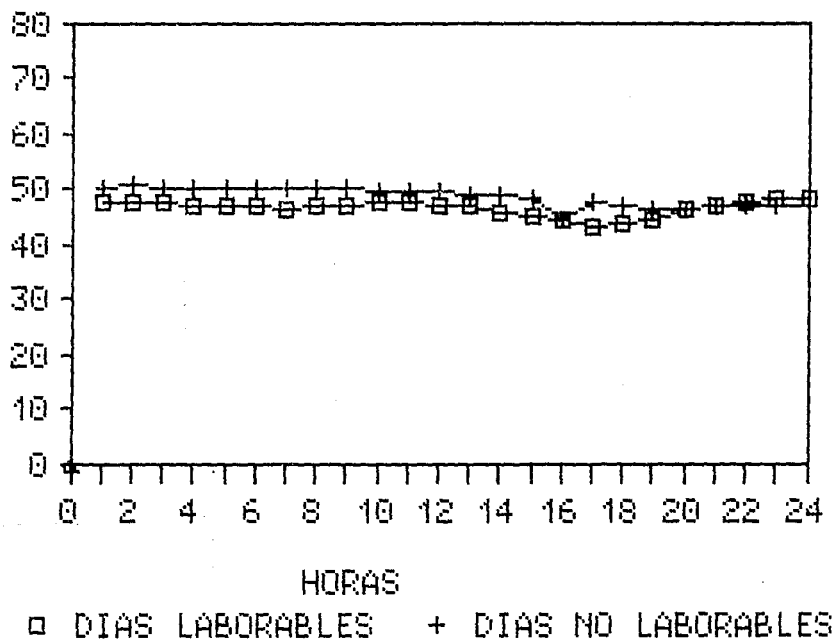


Figura A-40 Humedad relativa en el Segundo Piso.

CO CONCENTRACIONES  
TERCER PISO

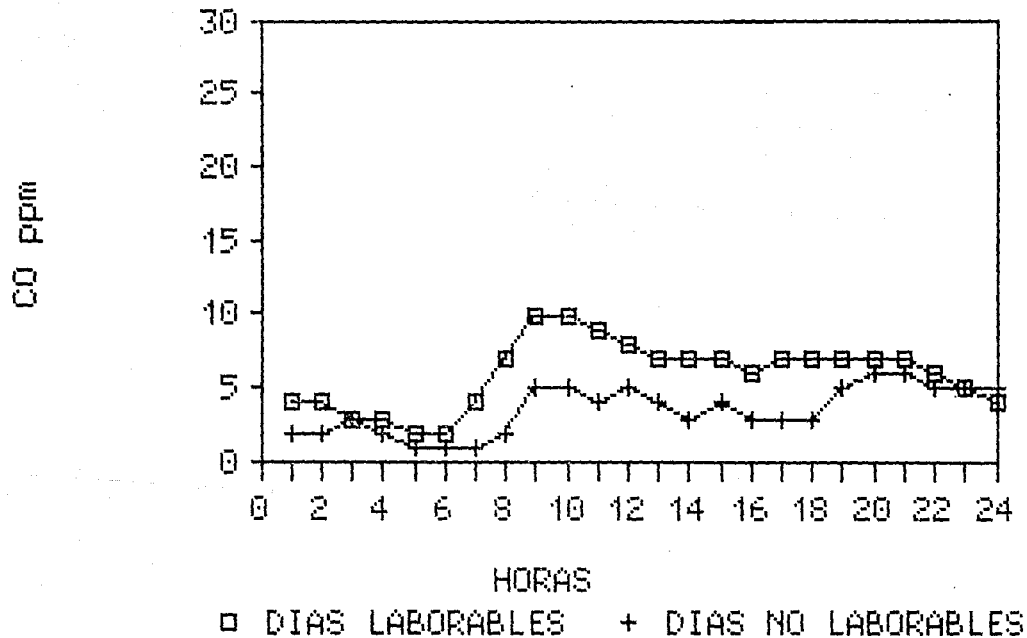
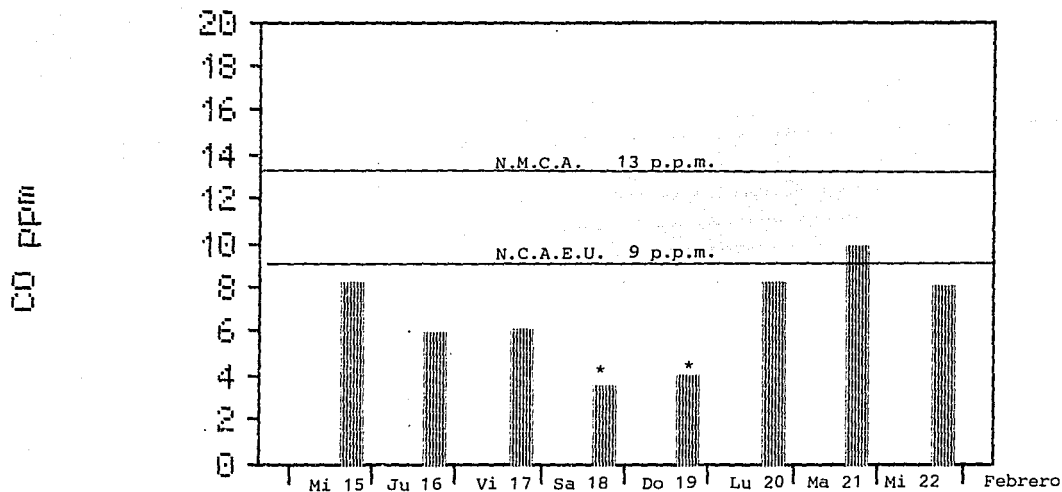


Figura A-41 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Tercer Piso.

## CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS

TERCER PISO

N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad del aire

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos

\* = Días no laborables

Figura A-42 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Tercer Piso.

COEFICIENTE DE SUCIEDAD  
TERCER PISO

COHS

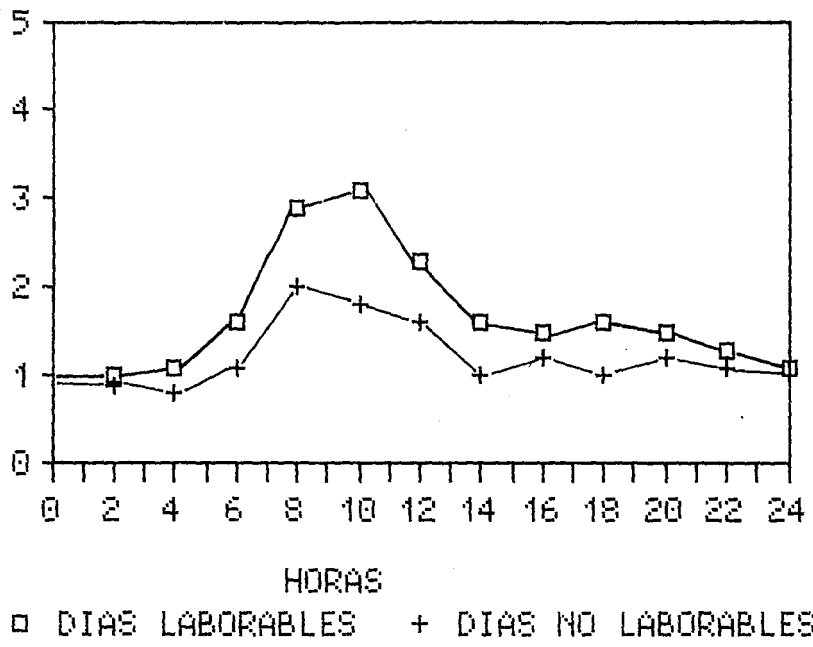
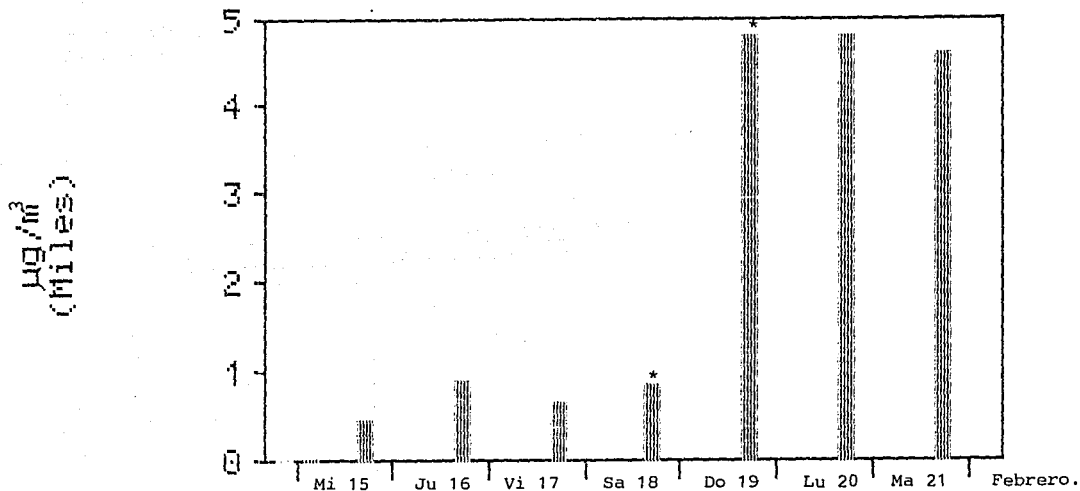


Figura A-43 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Tercer Piso.

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS



DIAS

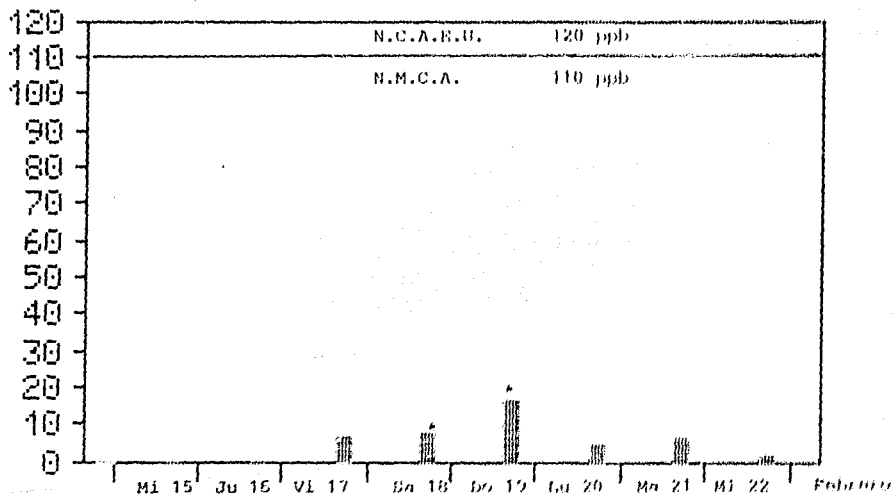
TERCER PISO

\* = Días no laborables.

Figura A-44 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Tercer Piso.

03 ppb

### O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



DIAS

TERCER PISO

N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad del aire

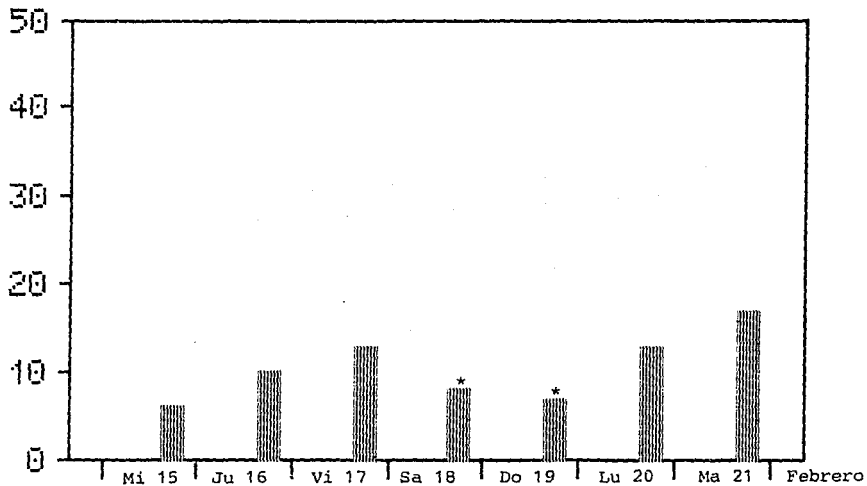
N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos

\* = Dias no laborables

Figura A-45 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Tercer Piso.

CHOH ppb

### CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS



TERCER PISO

\* = Días no laborables

Figura A-46 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Tercer Piso.



TEMPERATURA C

TEMPERATURA AMBIENTE  
TERCER PISO

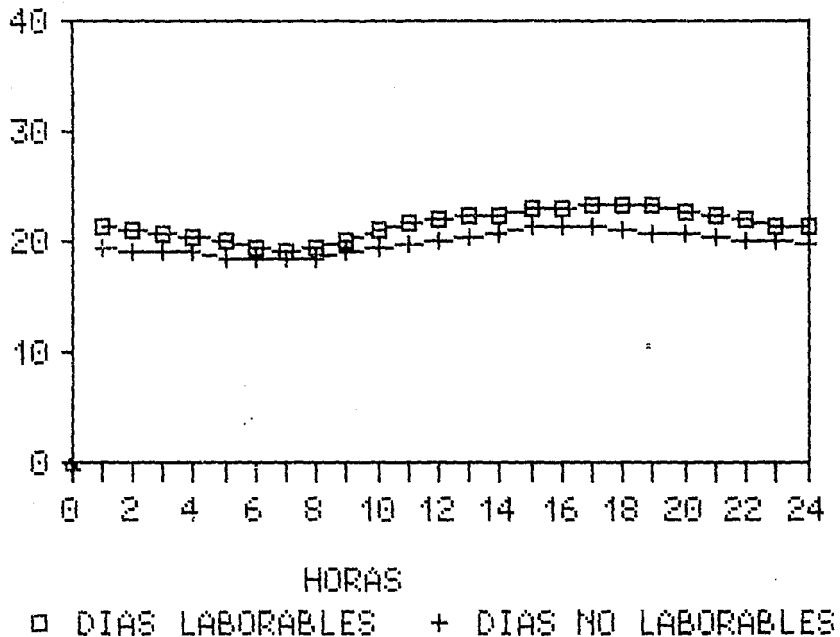


Figura A-47 Temperatura ambiente en el Tercer Piso.

### HUMEDAD RELATIVA TERCER PISO

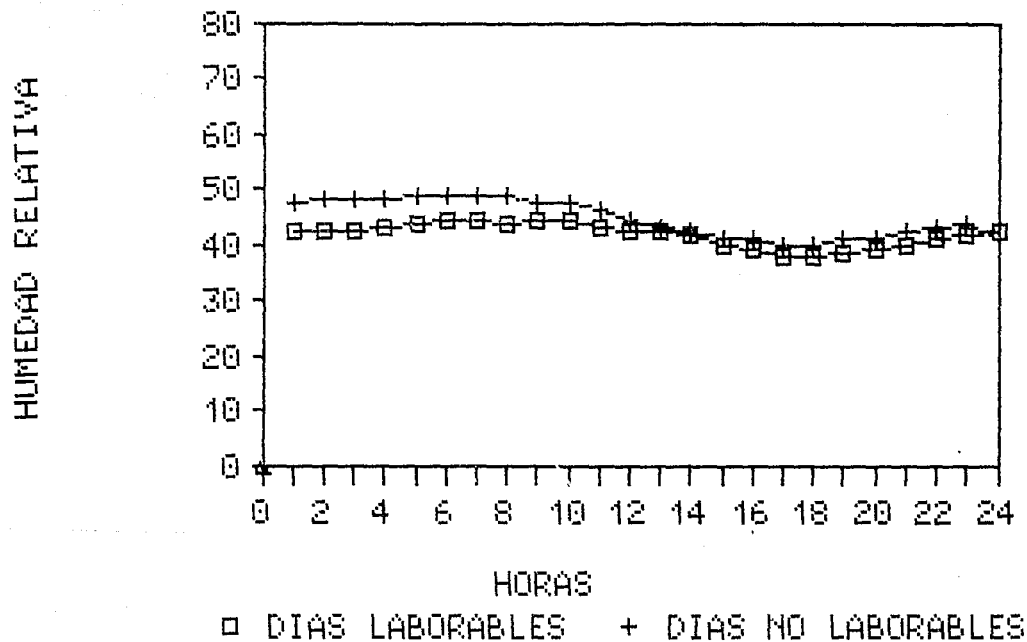


Figura A-48 Humedad Relativa en el Tercer Piso.

CO CONCENTRACIONES  
CUARTO PISO

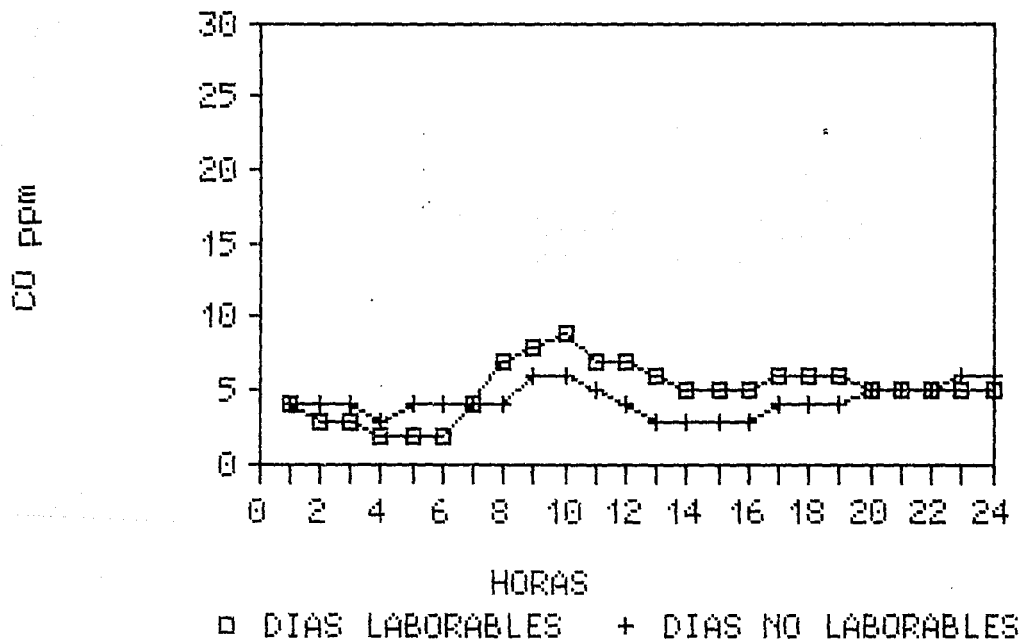
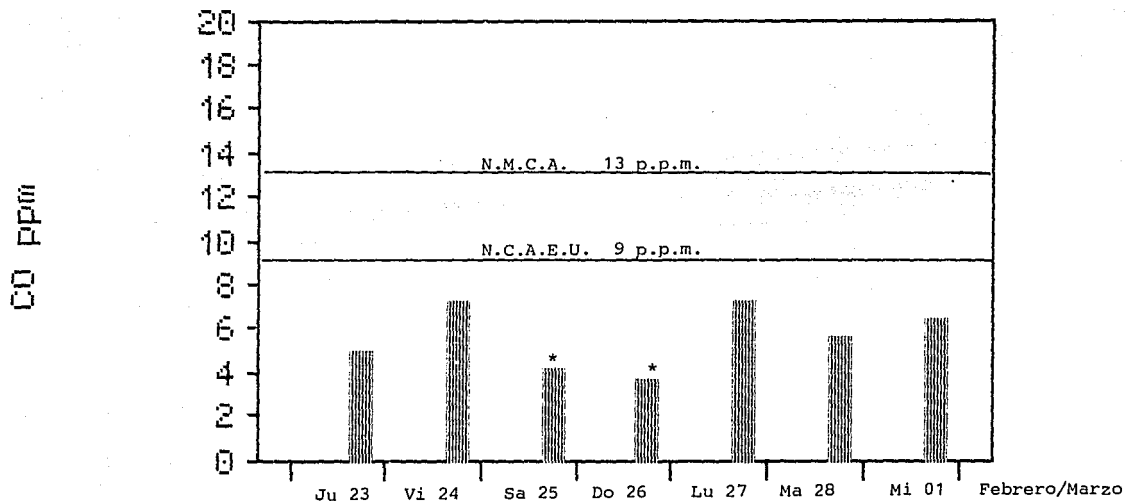


Figura A-49 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Cuarto Piso.

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS

▨ CUARTO PISO

N.M.C.A. = Norma mexicana de calidad del aire.

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.

\* = Días no laborables

Figura A-50 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Cuarto Piso.

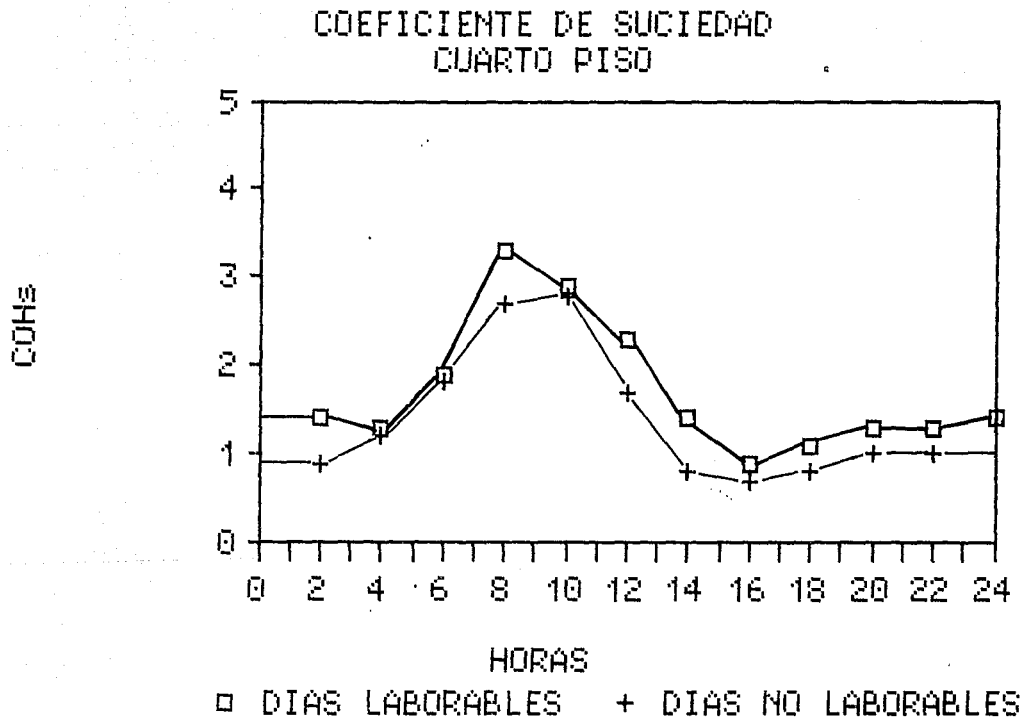


Figura A-51 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Cuarto Piso.

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS

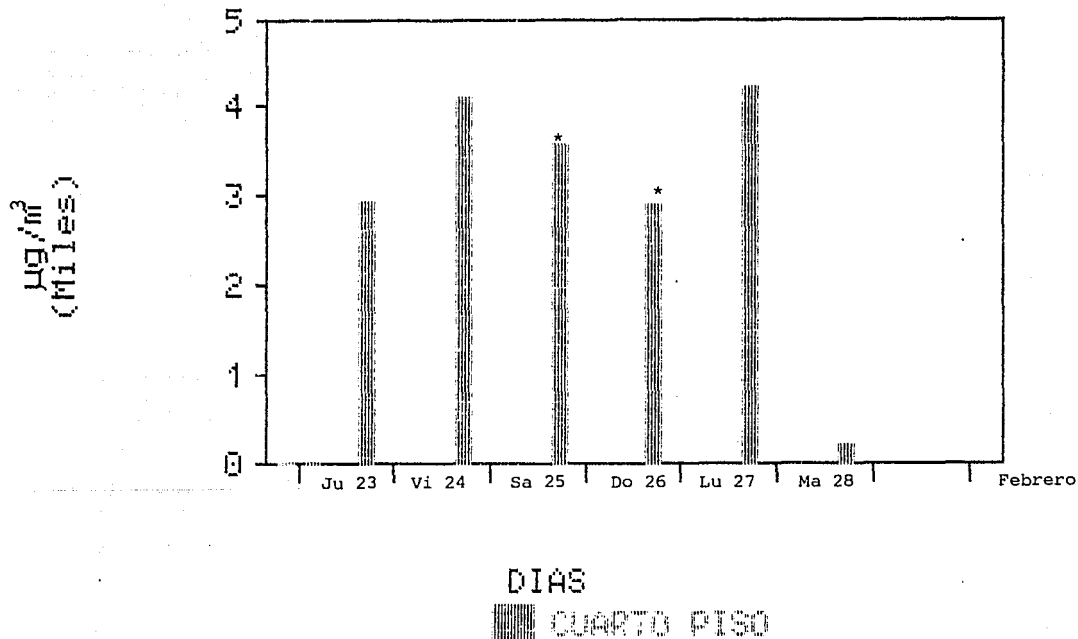
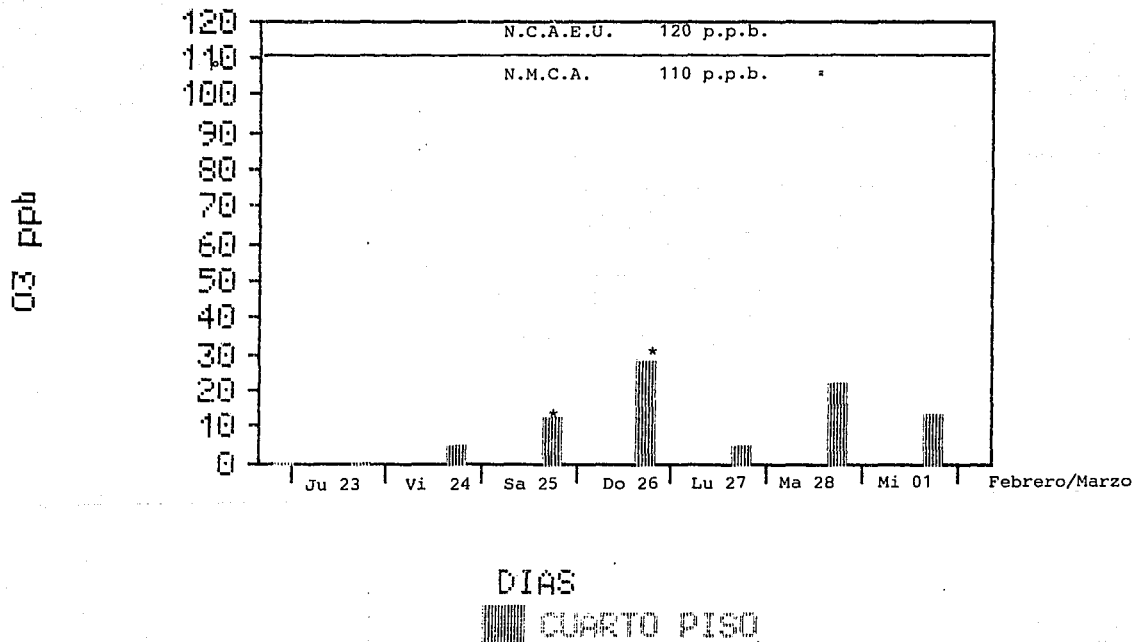


Figura A-52 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Cuarto Piso.

### O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.  
 N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.  
 \* = Días no laborables.

Figura A-53 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Cuarto Piso.

CHOH CONCENTRACIONES  
8 HORAS

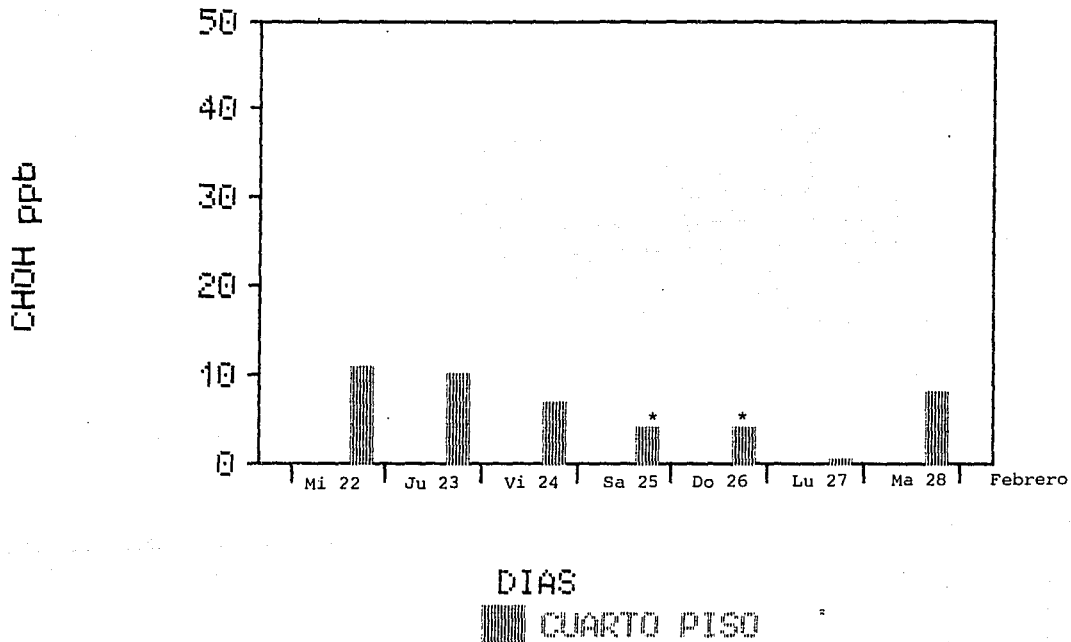


Figura A-54 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Cuarto Piso.



TEMPERATURA AMBIENTE  
CUARTO PISO

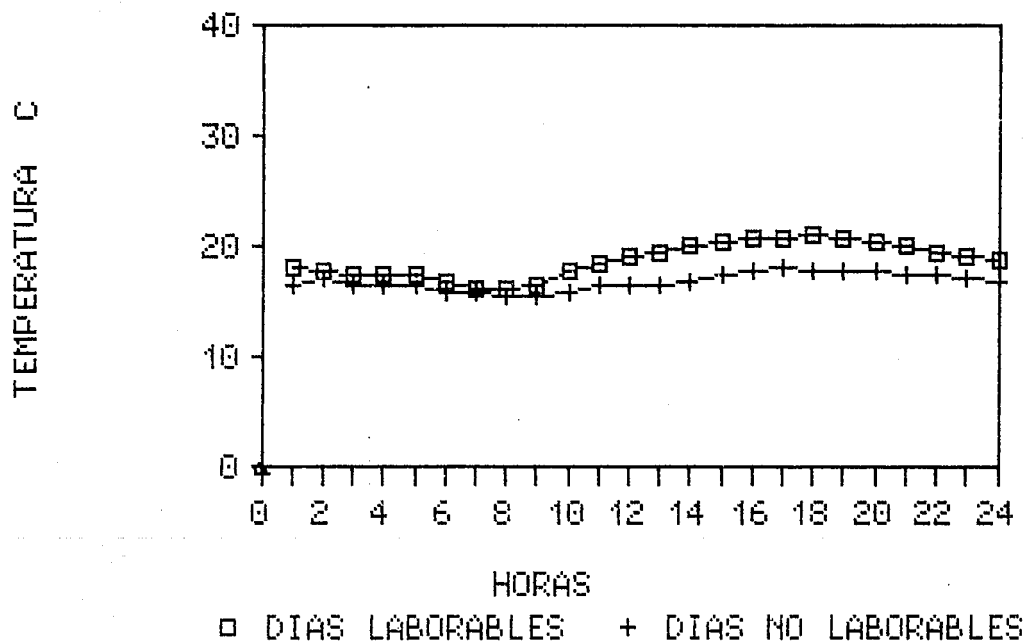


Figura A-55 Temperatura ambiente en el Cuarto Piso.

HUMEDAD RELATIVA  
CUARTO PISO

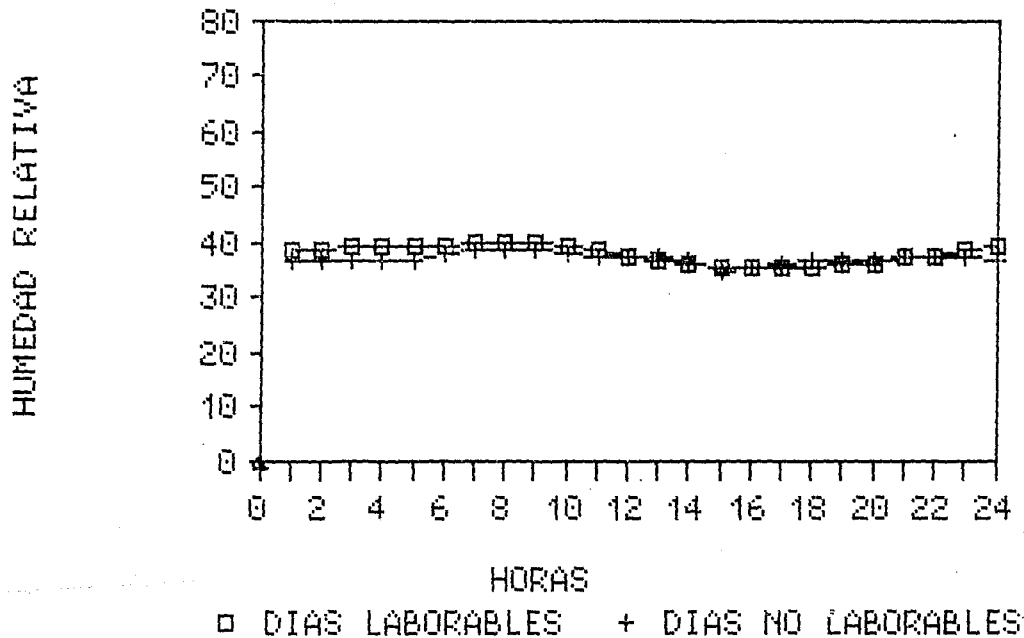


Figura A-56 Humedad relativa en el Cuarto Piso.

### CO CONCENTRACIONES QUINTO PISO

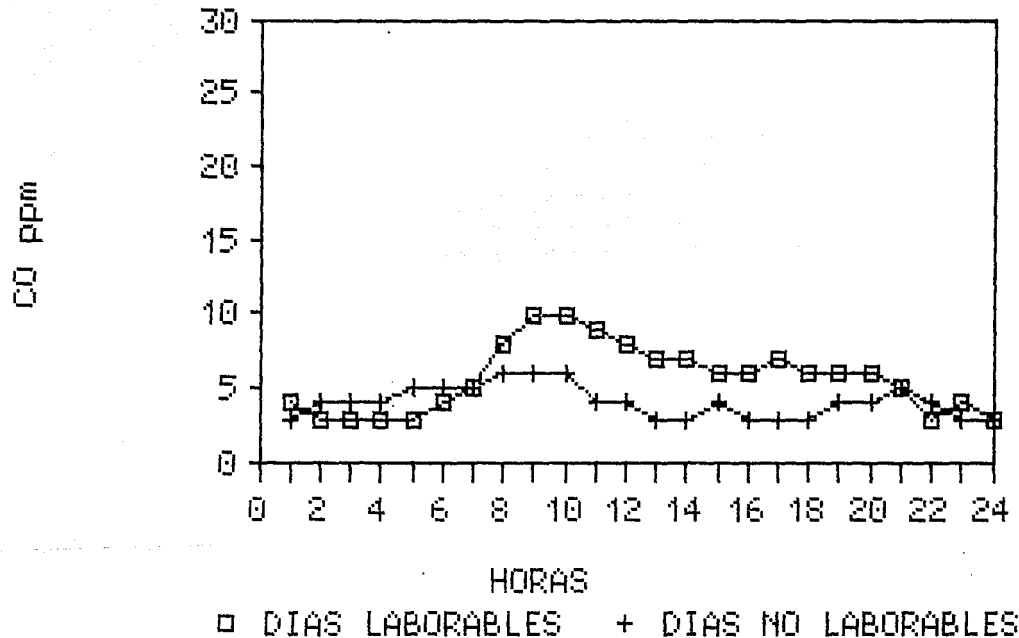
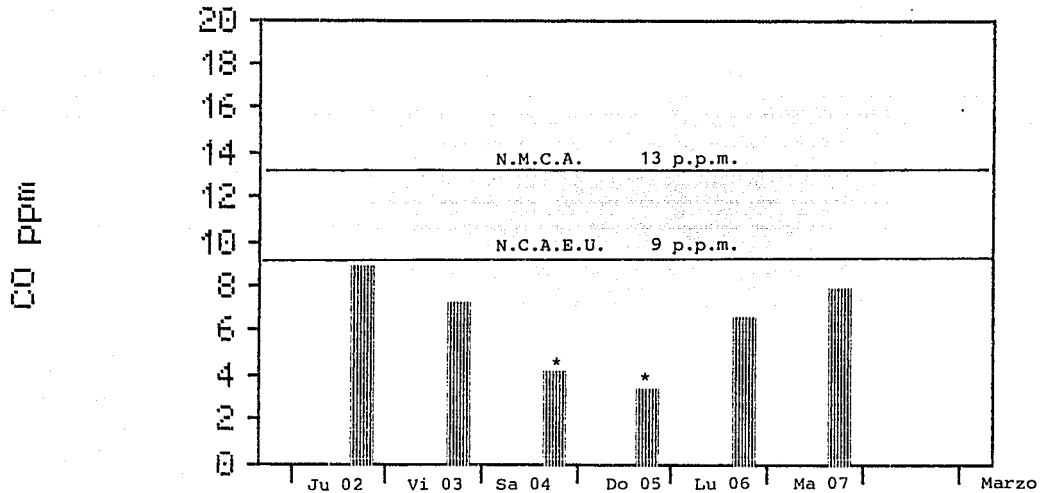


Figura A-57 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Quinto Piso.

## CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS

QUINTO PISO

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.

\* = Días no laborables.

Figura A-58 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Quinto Piso.

### COEFICIENTE DE SUCIEDAD QUINTO PISO

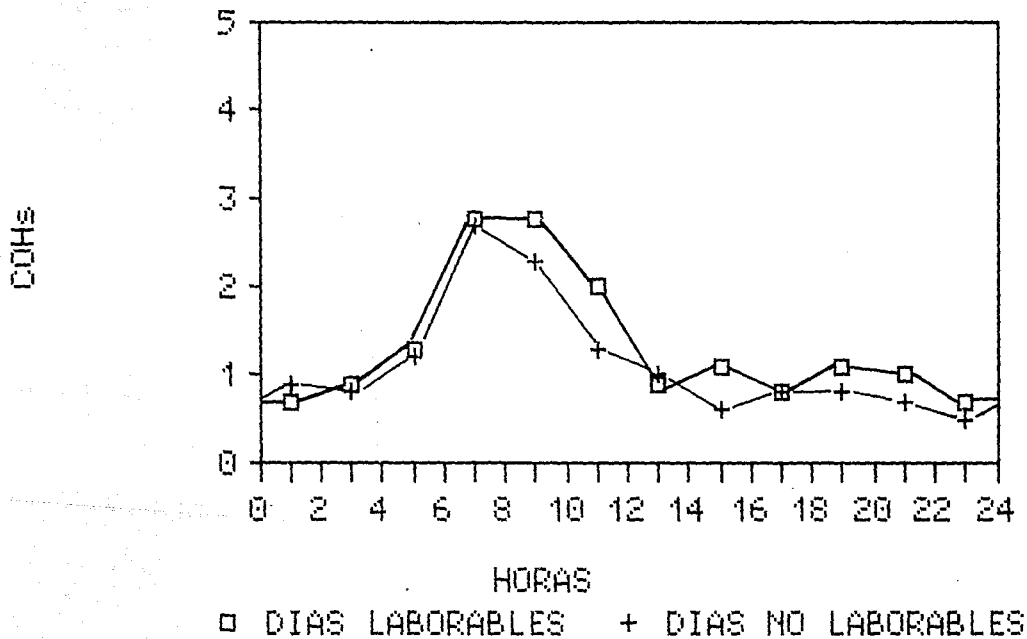
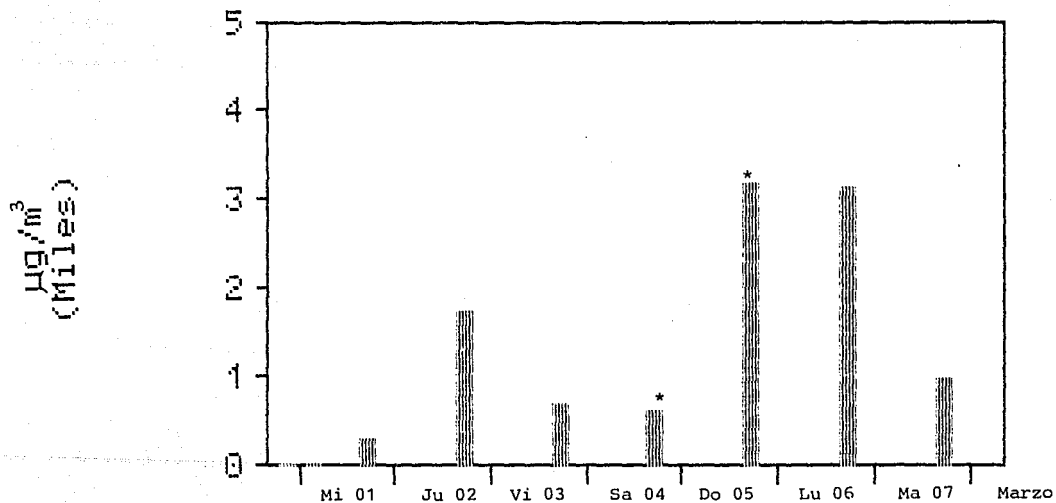


Figura A-59 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Quinto Piso.

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS



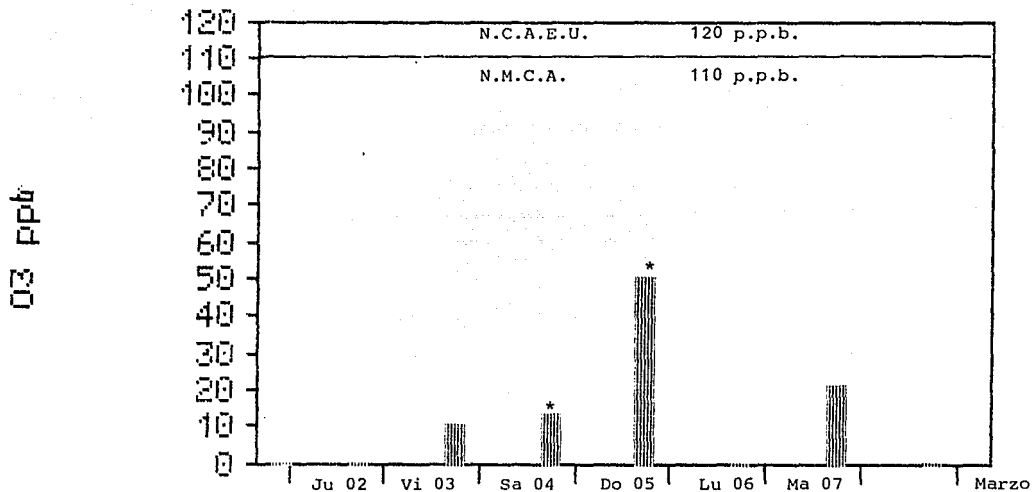
DIAS

QUINTO PISO

\* = Días no laborables.

Figura A-60 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Quinto Piso.

# O3 CONCENTRACIONES MÁXIMO HORARIO



## DIAS

### QUINTO PISO

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.

\* = Días laborables.

Figura A-61 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Quinto Piso.

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS

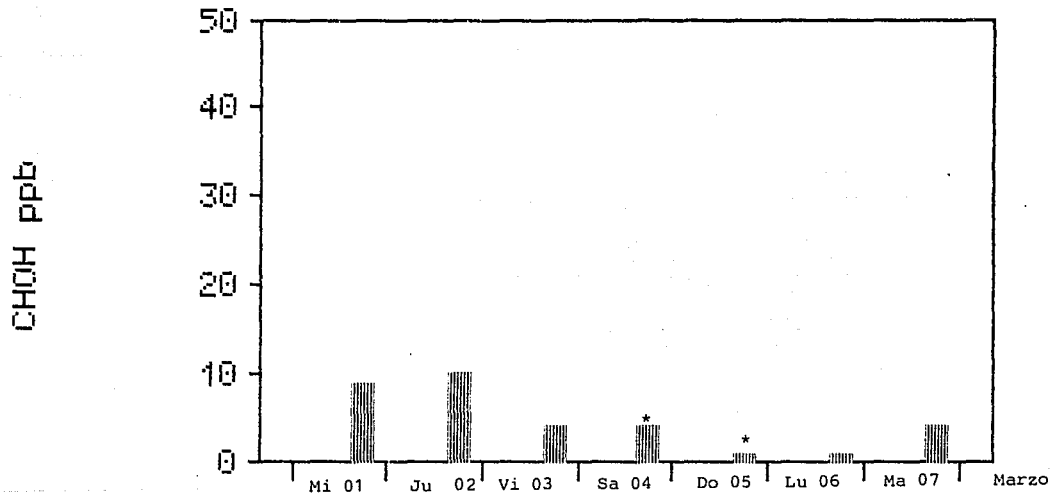


Figura A-62 Concentraciones de formaldehído en 8 horas promedio en el Quinto Piso.



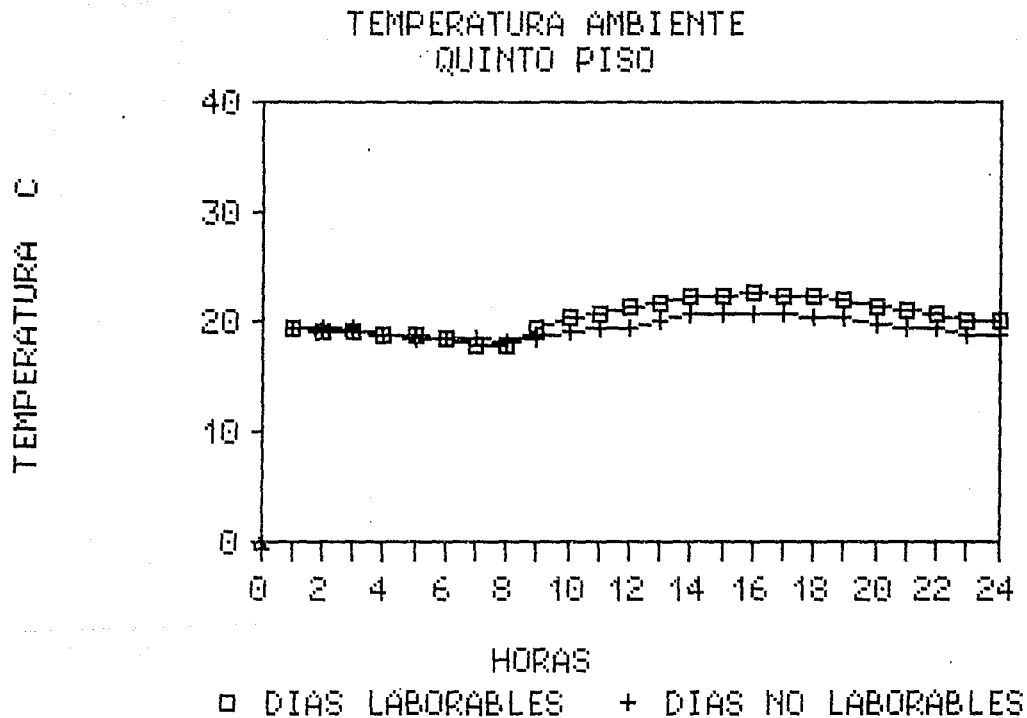


Figura A-63 Temperatura ambiente en el Quinto Piso.

### HUMEDAD RELATIVA QUINTO PISO

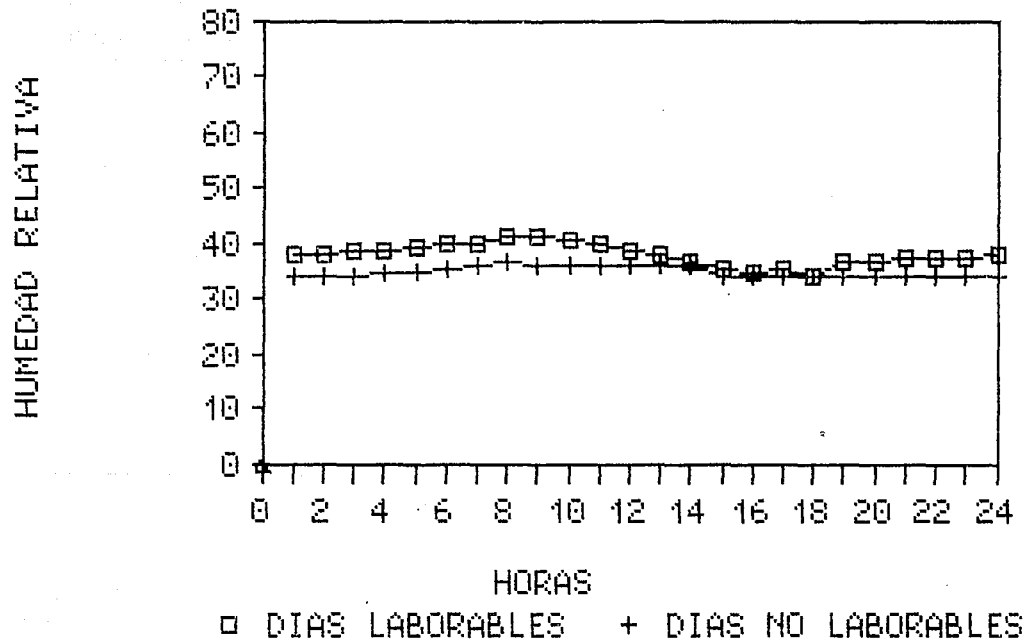


Figura A-64 Humedad relativa en el Quinto Piso.

CO CONCENTRACIONES  
SEXTO PISO A

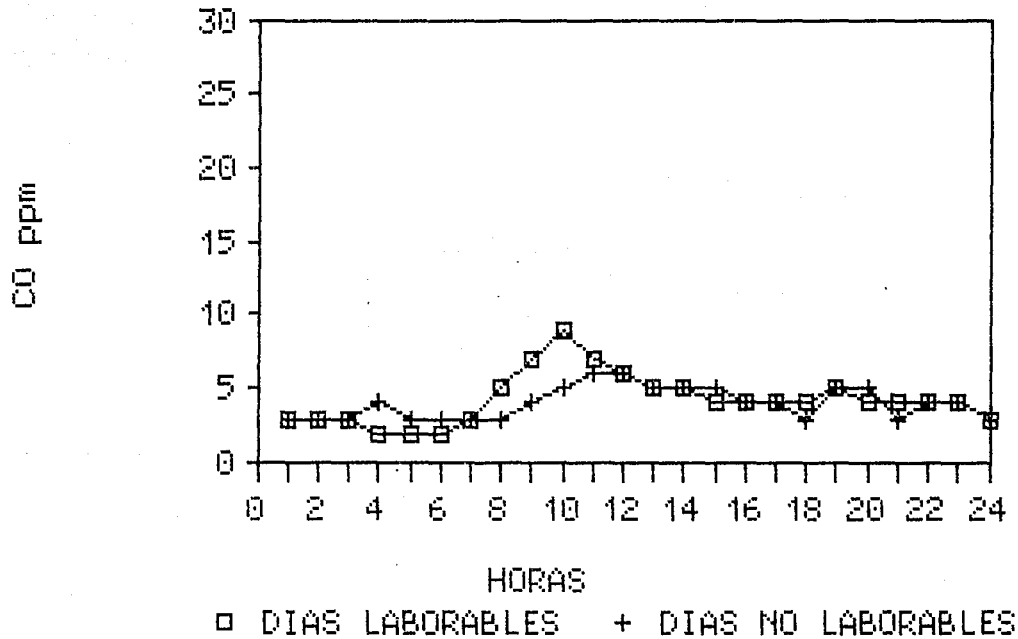


Figura A-65 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Sexto Piso (Sitio A).

CO CONCENTRACIONES  
SEXTO PISO B

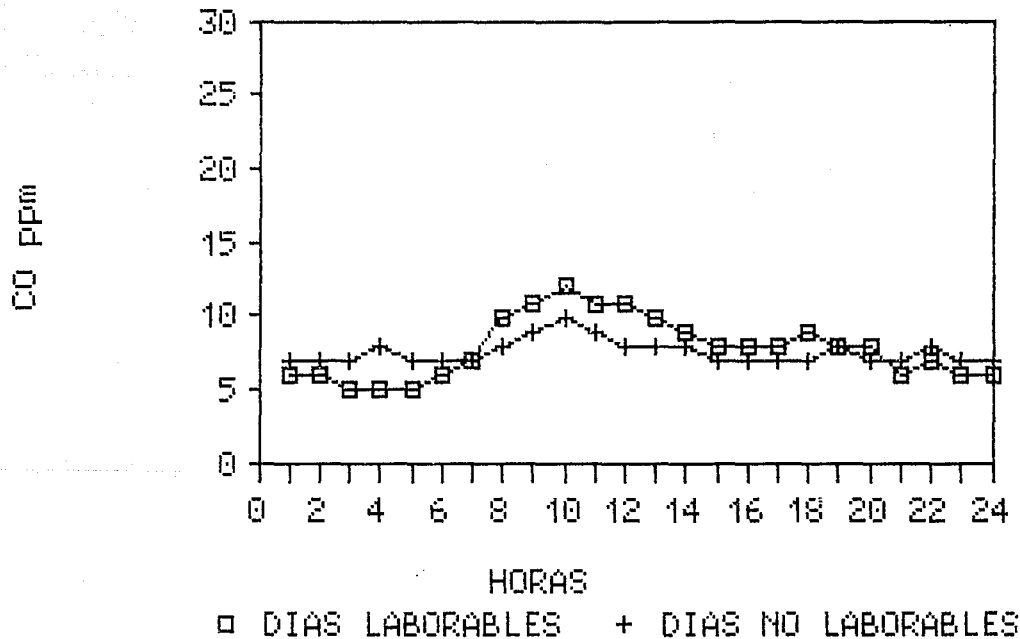
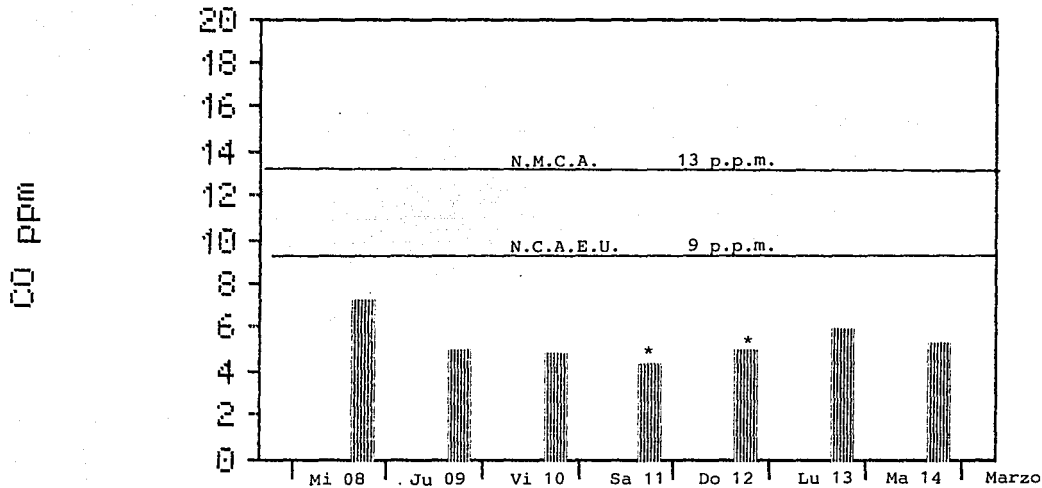


Figura A-66 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en el Sexto Piso (Sitio B).

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



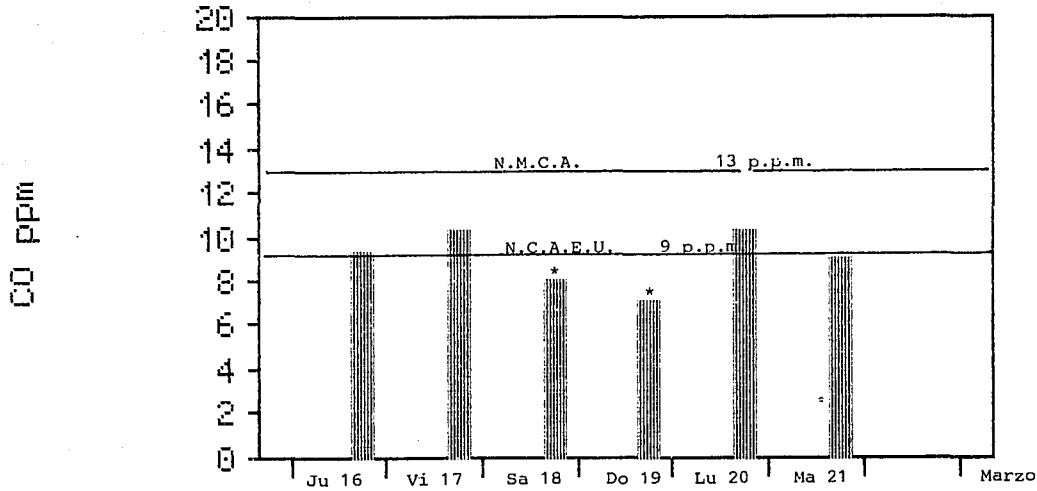
DIAS

SEXTO PISO A

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.  
 N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.  
 \* = Dias no laborables.

Figura A-67 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio A).

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.  
 N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.  
 \* = Días no laborables.

Figura A-68 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio B).

COEFICIENTE DE SUCIEDAD  
SEXTO PISO A

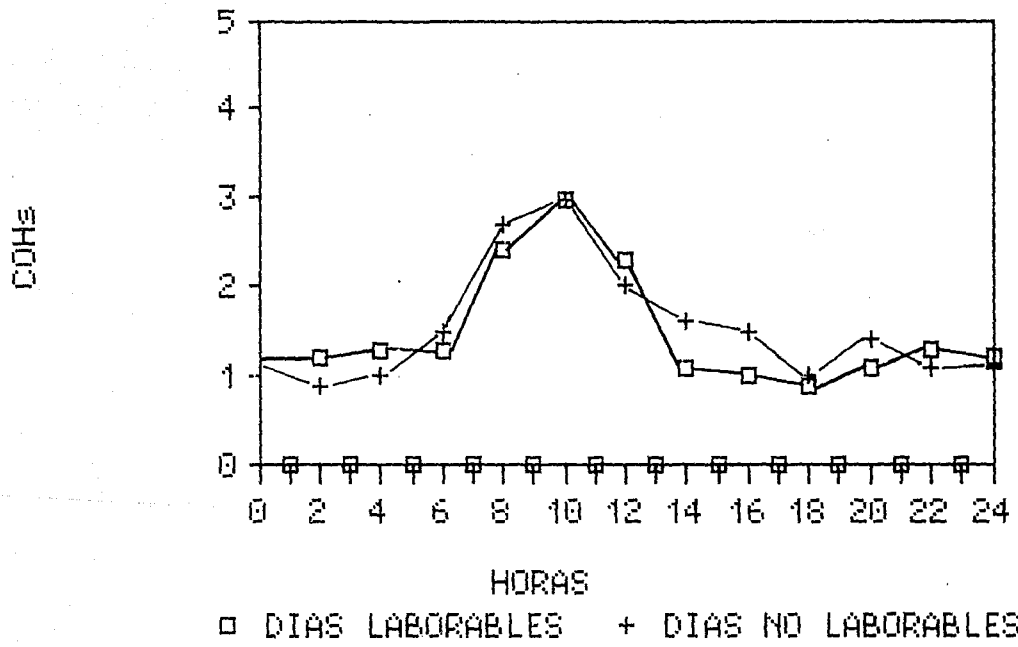


Figura A-69 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Sexto Piso (Sitio A).

COEFICIENTE DE SUCIEDAD  
SEXTO PISO B

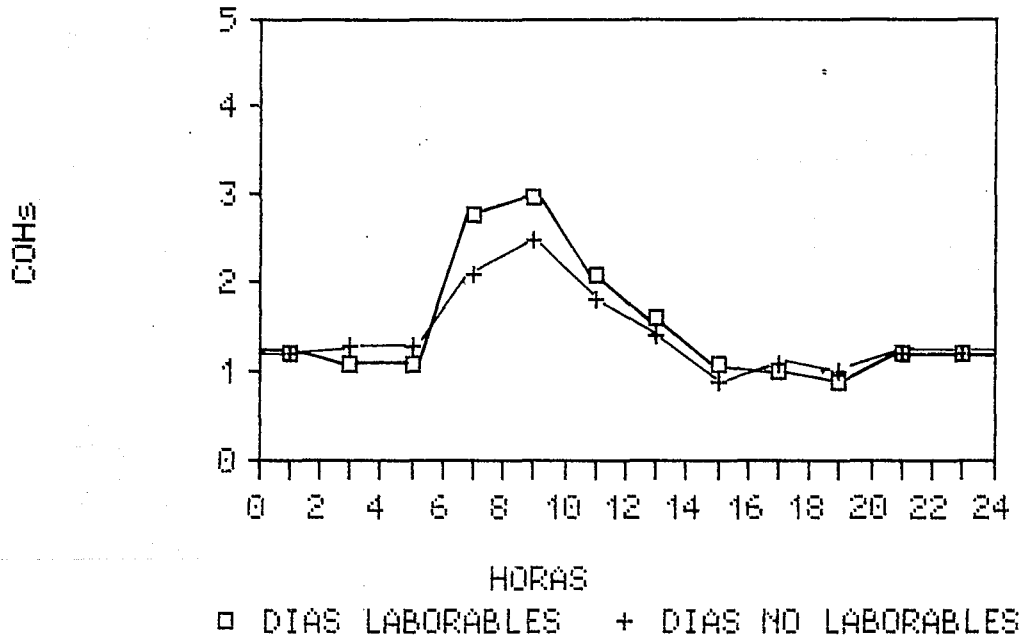
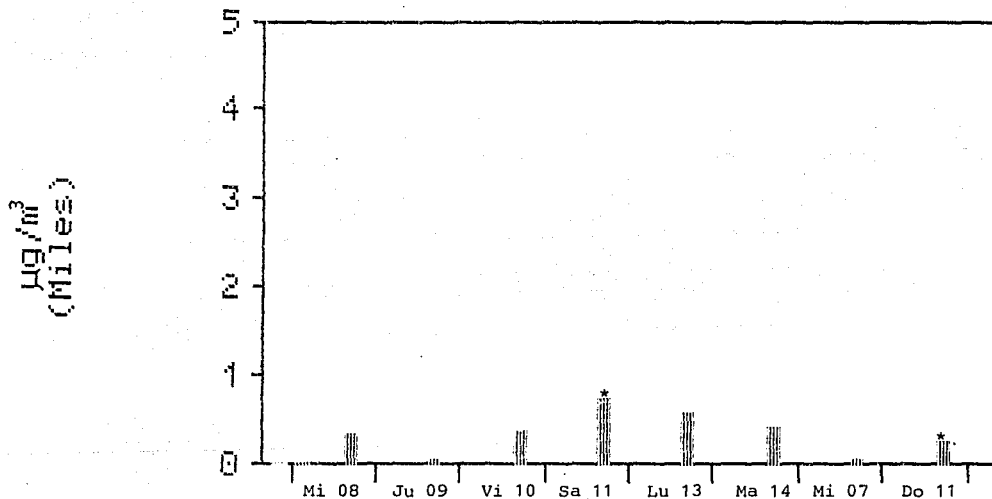


Figura A-70 Variación del coeficiente de suciedad durante el día en el Sexto Piso (Sitio B).



PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS



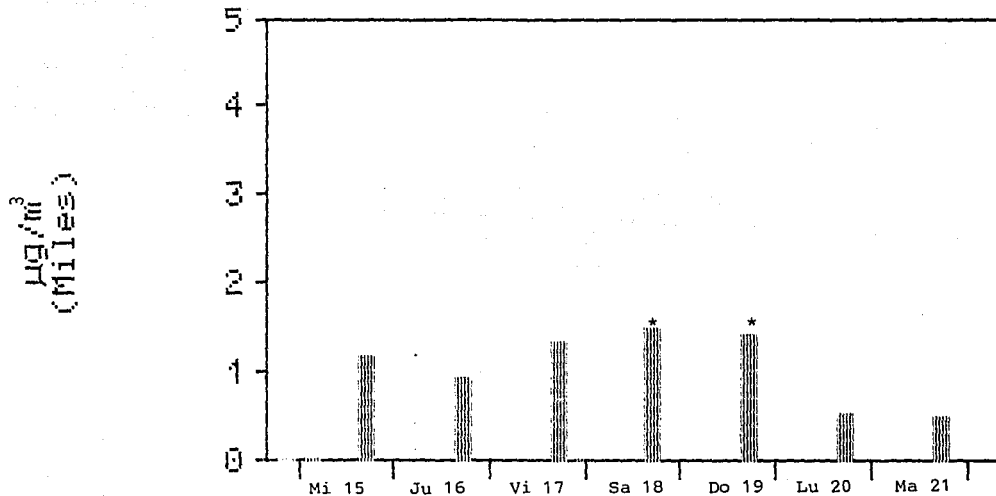
DIAS

SEXTO PISO A

\* = Días no laborables.

Figura A-71 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio A).

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS



DIAS

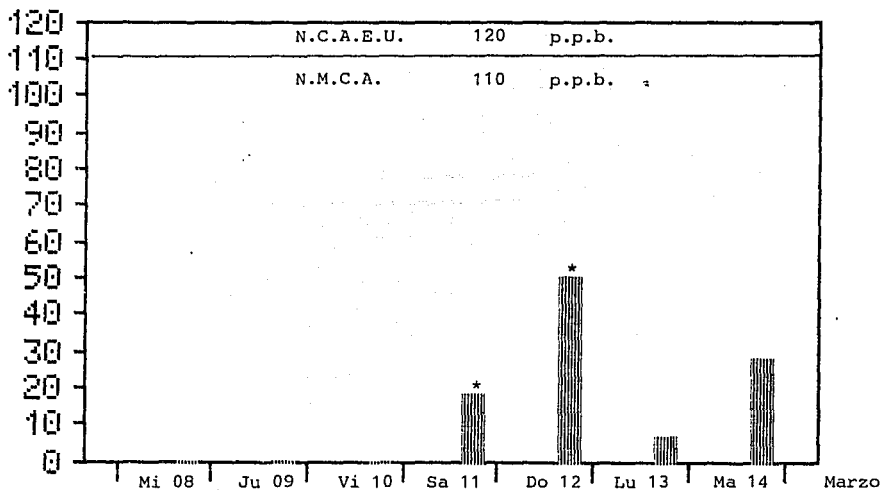
SEXTO PISO B

\* = Días no laborables.

Figura A-72 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio B).

O<sub>3</sub> ppb

### O<sub>3</sub> CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



DIAS

SEXTO PISO A

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire

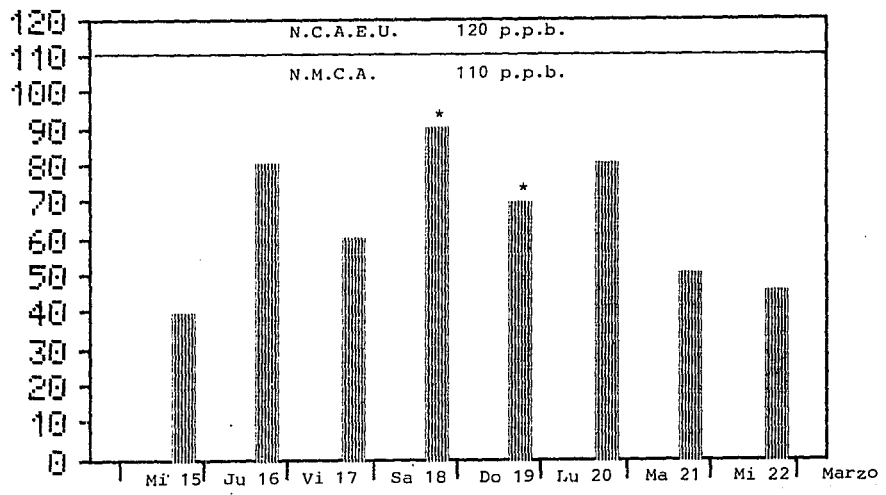
N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos

\* = Días no laborables

Figura A-73 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Sexto Piso (Sitio A).

03 ppb

### O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



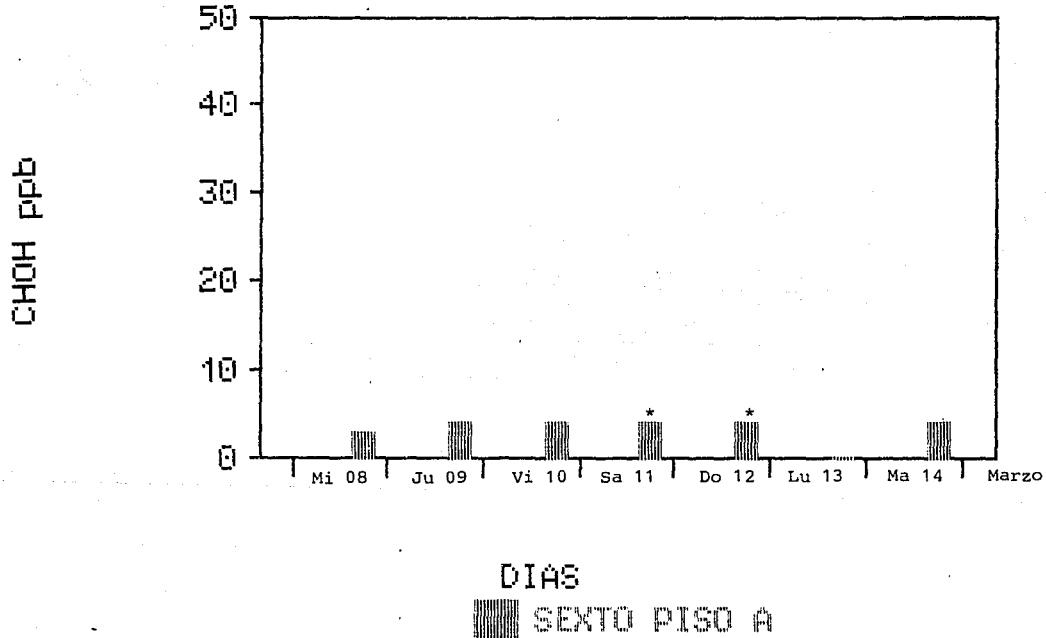
DIAS

SEXTO PISO B

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.  
N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.  
\* = Dias no laborables.

Figura A-74 Concentraciones máximas horarias de ozono en el Sexto Piso (Sitio A).

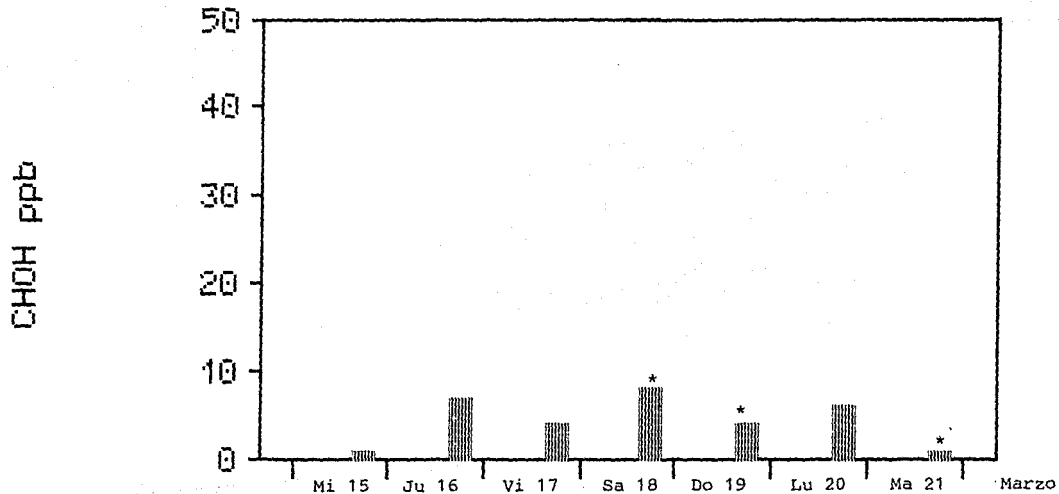
# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS



\* = Días no laborables.

Figura A-75 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio A).

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS

SEXTO PISO B

\* = Días no laborables.

Figura A-76 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en el Sexto Piso (Sitio B).

TEMPERATURA C

TEMPERATURA AMBIENTE  
SEXTO PISO A

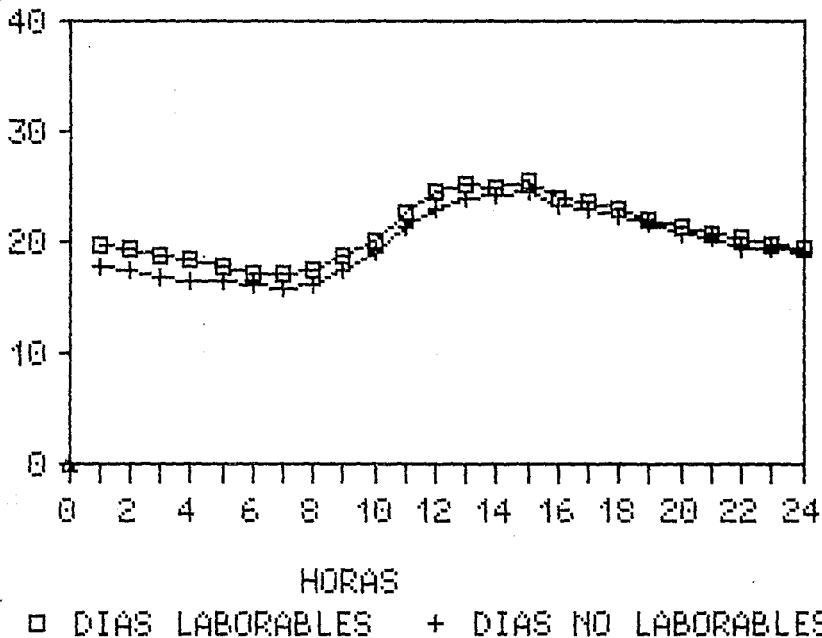


Figura A-77 Temperatura ambiente en el Sexto Piso (Sitio A).

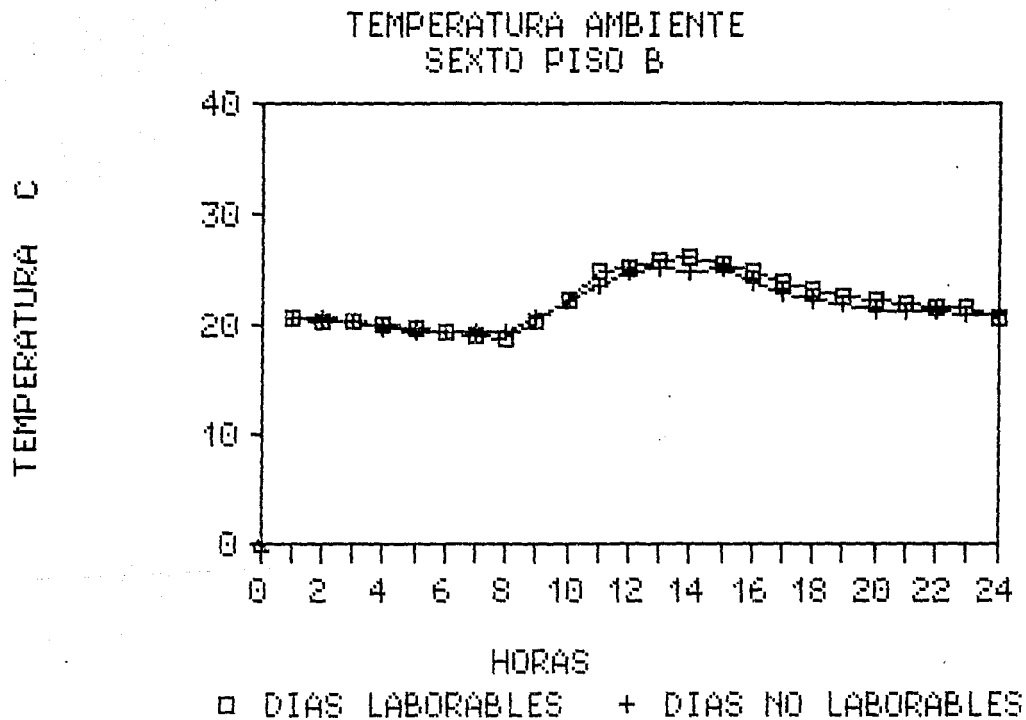


Figura A-78 Temperatura ambiente en el Sexto Piso (Sitio B).



HUMEDAD RELATIVA

### HUMEDAD RELATIVA SEXTO PISO A

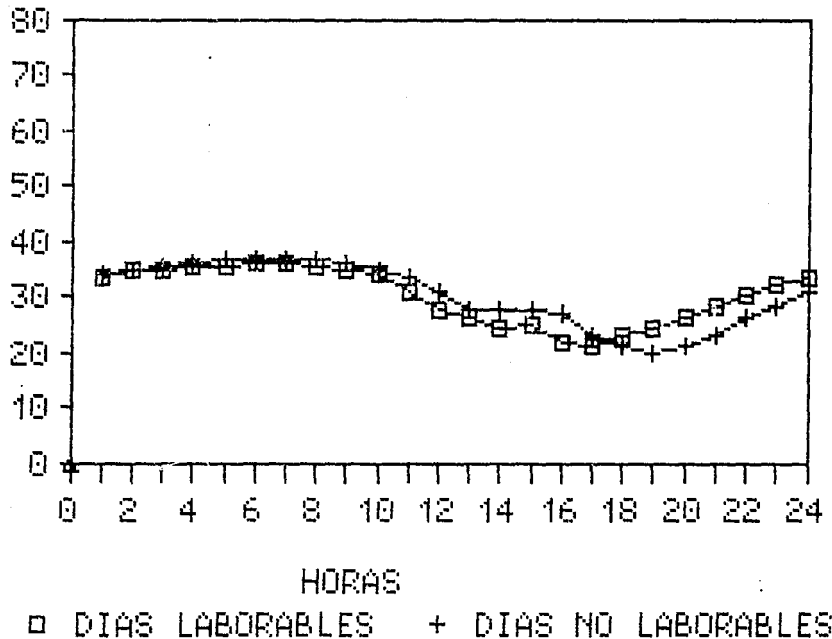
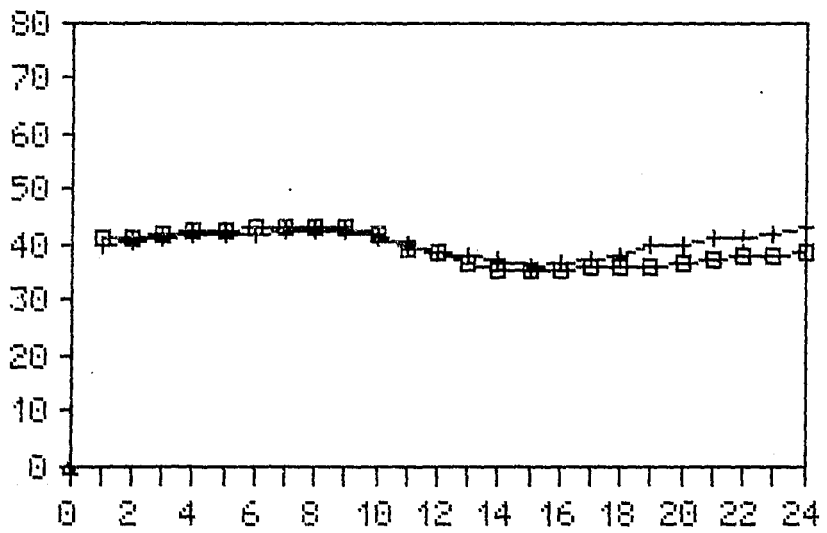


Figura A-79 Humedad relativa en el Sexto Piso (Sitio A).

HUMEDAD RELATIVA  
SEXTO PISO B

HUMEDAD RELATIVA



□ DIAS LABORABLES + DIAS NO LABORABLES

Figura A-80 Humedad relativa en el Sexto Piso (Sitio B).

# CO CONCENTRACIONES AZOTEA

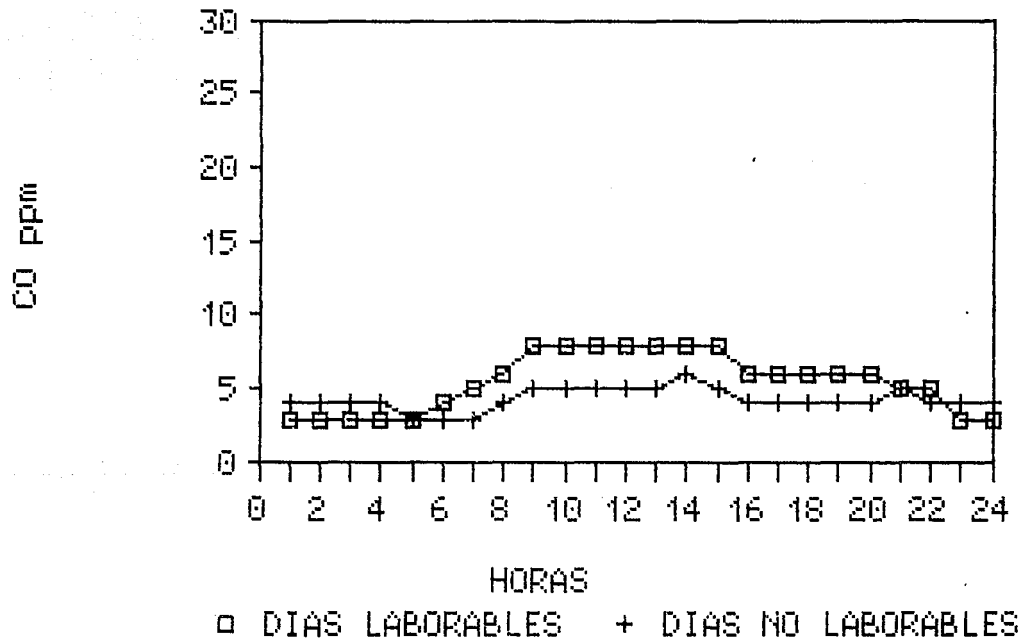
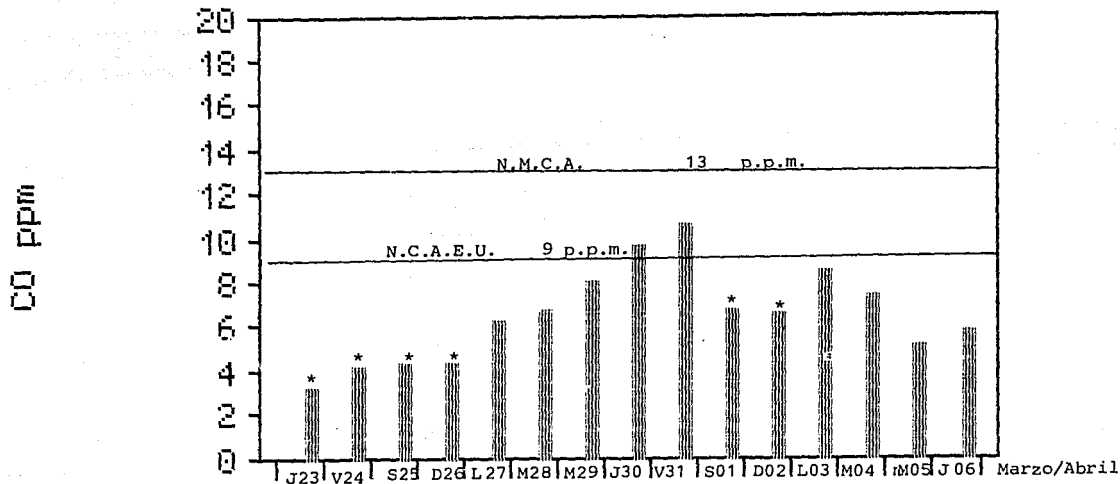


Figura A-81 Concentraciones horarias de monóxido de carbono en la azotea.

# CO CONCENTRACIONES 8 HORAS



DIAS  
 AZOTEA

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire.

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos.

\* = Días no laborables.

Figura A-82 Concentraciones de monóxido de carbono promedio de 8 horas en la azotea.

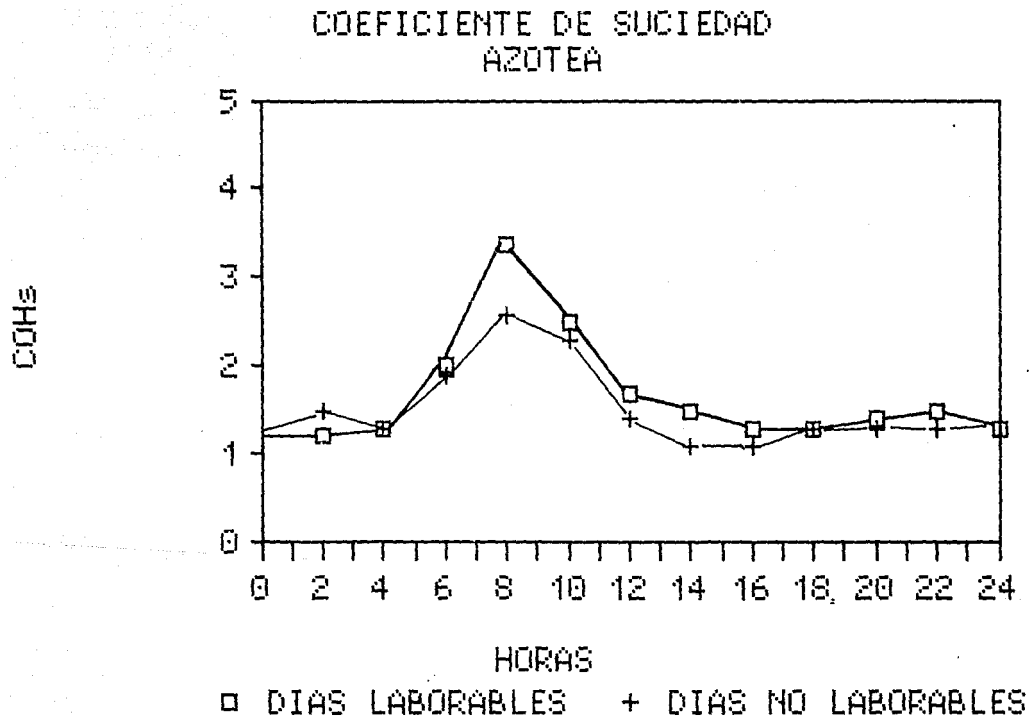
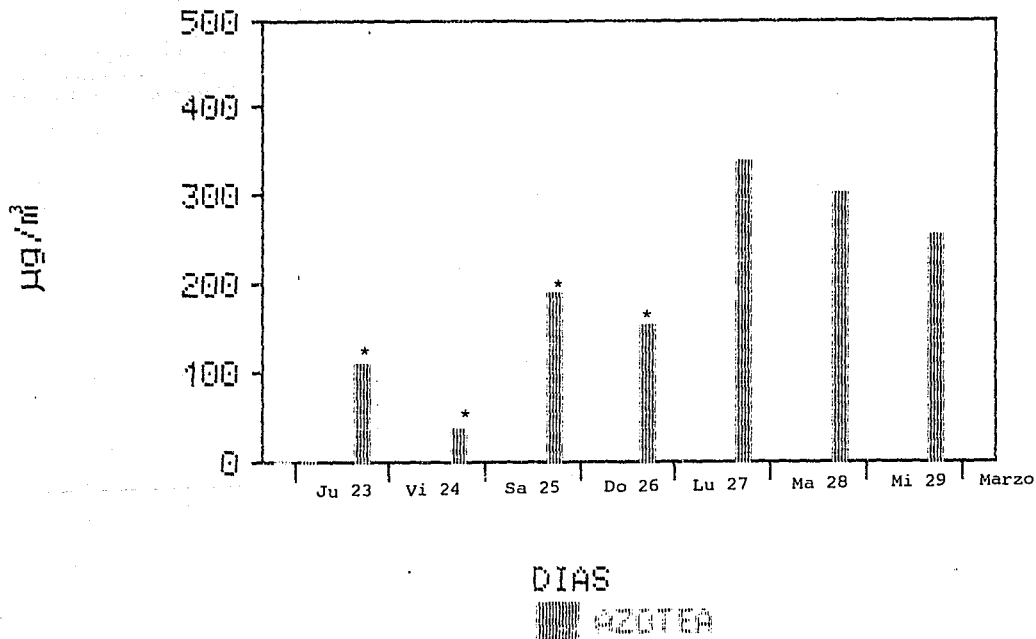


Figura A-83 Variación del coeficiente de sociedad durante el día en la azotea.

PARTICULAS INHALABLES  
8 HORAS

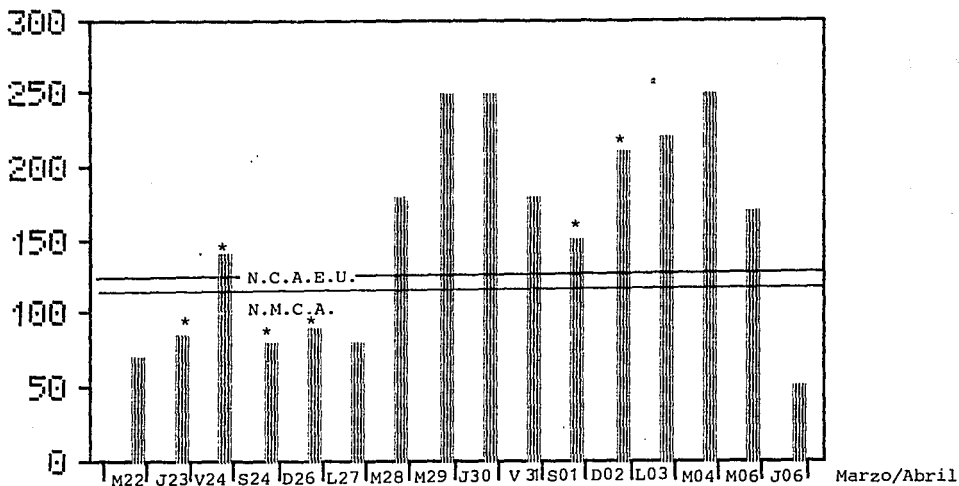


\* = Días no laborables.

Figura A-84 Concentraciones de partículas inhalables promedio de 8 horas en la Azotea.

O3 ppb

### O3 CONCENTRACIONES MAXIMO HORARIO



DIAS

||||| AZOTEA

N.C.A.E.U. = Norma de calidad del aire de los Estados Unidos (120 p.p.b.).

N.M.C.A. = Norma Mexicana de calidad del aire (110 p.p.b.).

\* = Dias no laborables.

Figura A-85 Concentraciones máximas horarias de ozono en la Azotea.

# CHOH CONCENTRACIONES 8 HORAS

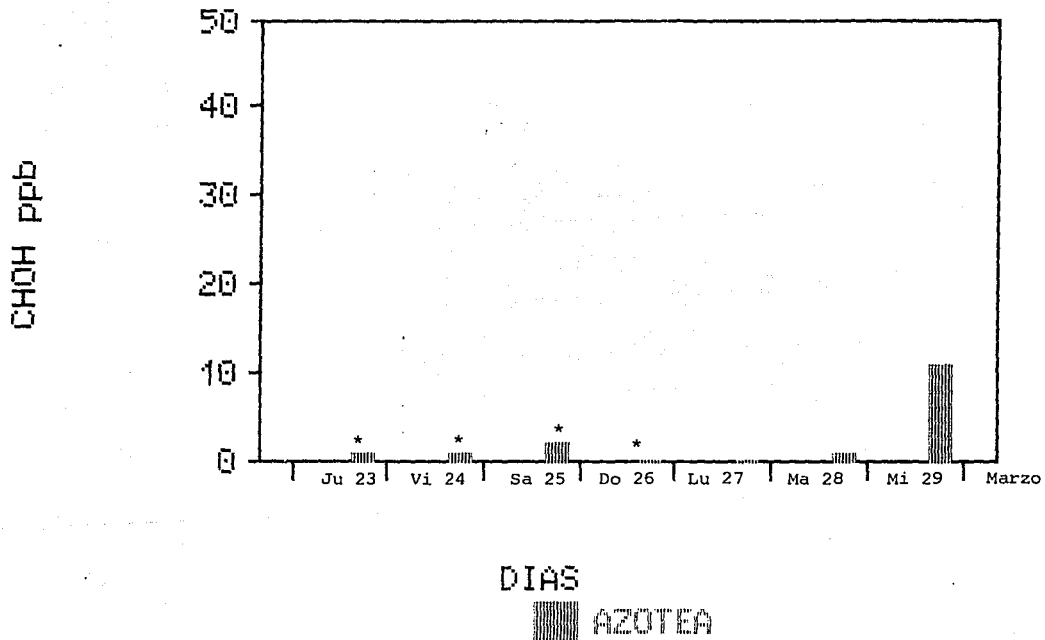


Figura A-86 Concentraciones de formaldehído promedio de 8 horas en la Azotea.



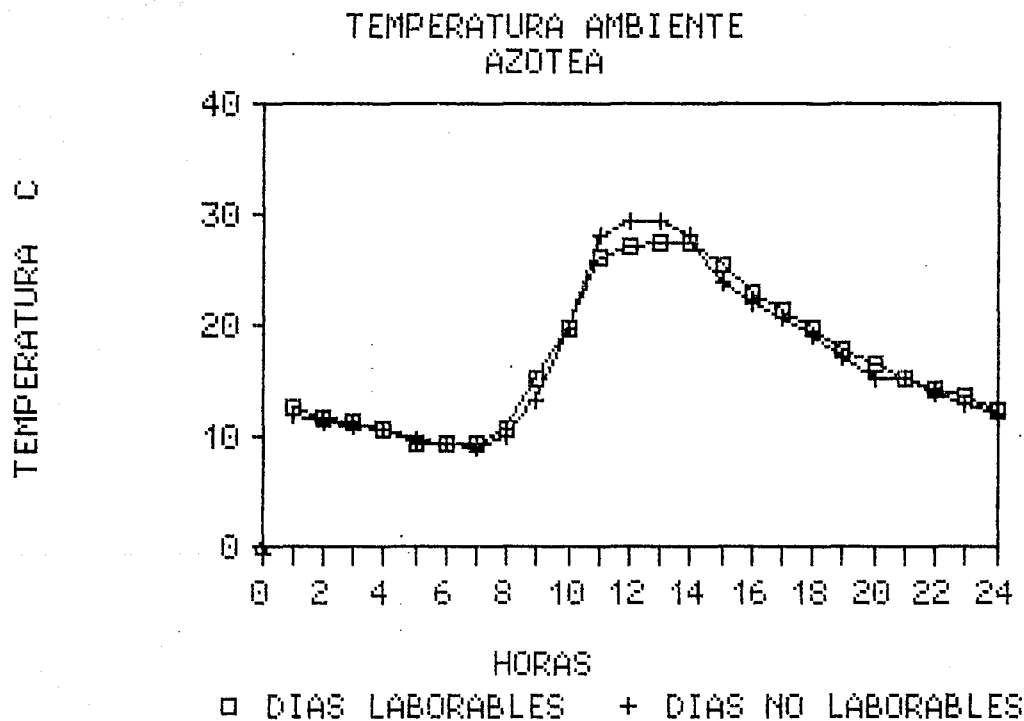


Figura A-87 Temperatura ambiente en la Azotea.

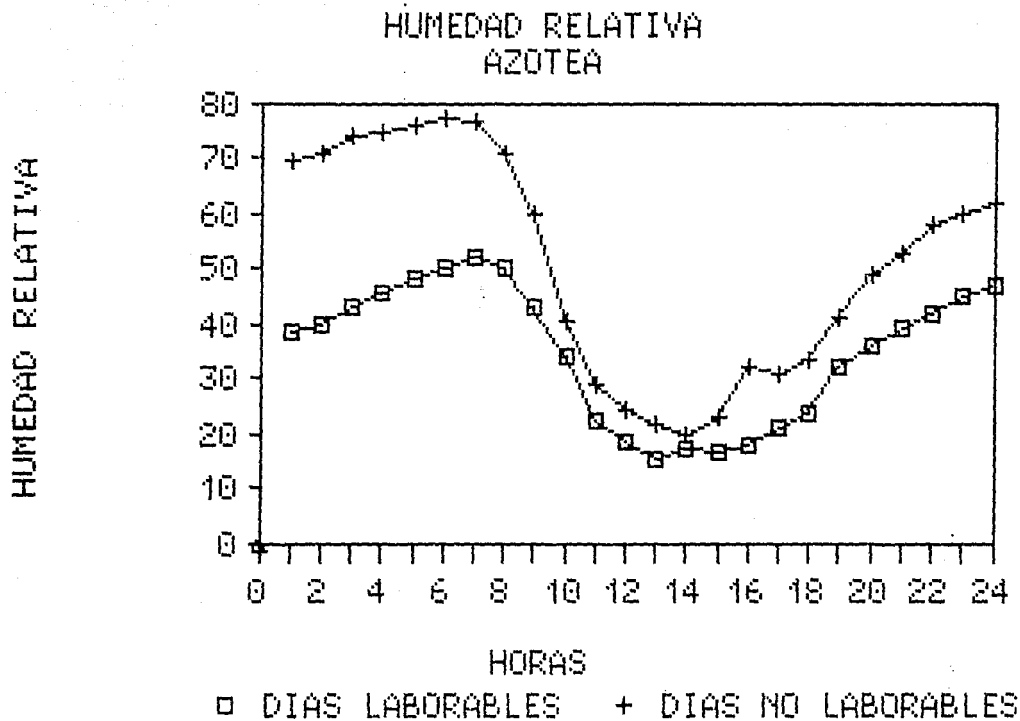


Figura A-88 Humedad relativa en la Azotea.