



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR OZONO
EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DE UN ÁREA
DE FOTOCOPIADO DE LA UNAM”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
FUENTES GARCÍA GILBERTO

México D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

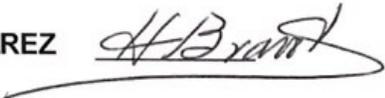
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

JURADO ASIGNADO

Presidente	DOMINGO ALARCON ORTIZ
Vocal	RODOLFO TORRES BARRERA
Secretario	RODOLFO SOSA ECHEVERRIA
1 ^{er} . Suplente	VICTOR MANUEL LUNA PABELLO
2 ^{do} . Suplente	GUILLERMO ANTONIO SEGURA ESPINOSA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera
de la UNAM.

Asesor	Dr. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA	
Supervisor Técnico	Dr. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ	
Sustentante	FUENTES GARCIA GILBERTO	

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Bravo Álvarez, jefe de la SCA-CCA-UNAM, que por su experiencia y su apoyo incondicional hicieron posible la realización de ésta tesis.

Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por su confianza, apoyo, tiempo y dedicación al desarrollo de ésta tesis, cuya enseñanza siempre fue valiosa.

Al Ing. Cuauhtémoc Lagos Chávez por su colaboración en la organización y elaboración de la base de datos.

A la Q. Ana Luisa Alarcón Jiménez por las sugerencias a éste trabajo de investigación.

A la M. en I. Mónica Jamies Palomera y al Biol. Pablo Sánchez Álvarez por su apoyo en la realización de éste trabajo.

Por la revisión de la tesis: Dr. Rodolfo Sosa Echeverría, Dr. Humberto Bravo Álvarez, Ing. Rodolfo Torres Barrera y al Ing. Domingo Alarcón Ortiz.

DEDICATORIAS

A Dios por acompañarme siempre en todo momento, permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios y cuidar a mi familia en las horas de ausencia.

Dedicado con todo el corazón para ti abuelita Vicky y también para ti tío Armando y tía Arely.

Abuelo Cuco, esto es para ti, porque siempre quisiste ver a tu nieto hecho todo un profesional, lo he logrado abuelo... Te quiero.

Éste trabajo escrito es para ti mamá porque siempre estuviste al pendiente de mis estudios, siempre me apoyaste en todo momento, confiaste en mí a pesar de las dificultades de la carrera, porque me enseñaste a tener seguridad... hoy tienes a un profesionalista más en casa.

Todo lo que he logrado hasta el día de hoy ha sido gracias al apoyo incondicional que siempre me brindas, ha sido por toda la enseñanza que has formado en mí, ha sido porque eres un tenaz de la excelencia, ha sido por tu experiencia y ética profesional, ha sido porque eres un buen amigo y, sobre todo, porque eres un buen padre. Gracias a ti, soy lo que soy y éste detalle es para ti.

Fuiste y eres mi ejemplo a seguir, tú que estás en las buenas y en las malas, gracias por todo el apoyo. Sin tu ejemplo a seguir éste trabajo escrito no sería terminado... te quiero hermana.

A ustedes, Nancy y Araceli, por ser mis mejores amigas y saber que estamos juntos ya que sin sus consejos no lograría éste trabajo escrito.

Alex, Sandy, Ele, Cherch, John, Maku, Ana Alejandra, Malena, quiero que sepan que son mis más fieles seguidores y amigos de la Fac. y, éste detalle, es para ustedes...

A los integrantes de la SCA-CCA y muy en especial a ti, sí a ti Anitita, por enseñarme muchas cosas, gracias por todas las sugerencias a este trabajo escrito y por el tiempo dedicado.

“A la UNAM y en especial a la Facultad de Química por haberme otorgado la oportunidad de ejercer una profesión”.

CONTENIDO.

	Pág.
GLOSARIO DE TERMINOS.	i
LISTA DE TABLAS.	ii
LISTA DE FIGURAS.	iv
RESUMEN EJECUTIVO.	vi
INTRODUCCIÓN.	1
Meta.	2
Objetivos.	2
Actividades realizadas.	2
Importancia de la calidad del aire en interiores.	3
1. ANTECEDENTES.	4
1.1. La contaminación atmosférica en la ZMCM.	4
1.2. Calidad del aire.	5
1.2.1. Calidad del aire en interiores.	5
1.2.2. Naturaleza y fuentes de los contaminantes atmosféricos.	10
1.2.3. Radón.	14
1.2.4. Humo de tabaco.	15
1.2.5. Contaminación biológica.	22
1.2.6. Antecedentes Legales contra el Tabaquismo en el D.F.	22
2. EL OZONO.	27
2.1. Características del ozono.	27
2.1.1. Proceso de formación.	27
2.1.2. Efectos del ozono troposférico en el organismo y en la salud pública.	29
2.2. Contaminación atmosférica por ozono en interiores.	31
3. MAQUINAS DE FOTOCOPIADO COMO FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINACIÓN.	32
3.1. Características de las máquinas de fotocopiado (Marca Xerox).	32
3.2. Emisiones por la operación de máquinas de fotocopiado.	36
3.2.1. Ozono.	36
3.2.2. Partículas.	38
3.2.3. Compuestos Orgánicos Volátiles.	38
4. METODOLOGÍA.	41
4.1. Estrategia de medición de la calidad del aire en interiores.	42
4.2. Muestreo y análisis.	44
4.3. Análisis estadístico.	49

5.	RESULTADOS OBTENIDOS.	50
5.1.	Diseño experimental.	50
5.2.	Número de muestras obtenidas.	50
5.3.	Concentraciones de ozono en la atmósfera.	61
6.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.	65
6.1.	Prueba de normalidad.	65
6.2.	Comparación entre las concentraciones de ozono en el interior y en el exterior del área estudiada.	72
6.3.	Relación Interior/Exterior.	84
7.	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN INTERIORES.	85
7.1.	Antecedentes del aire en interiores.	85
7.2.	Control del aire en interiores.	85
7.2.1.	El Aire en Interiores: Métodos de control y depuración.	90
7.2.2.	Objetivos y principios de la ventilación general y la ventilación de dilución.	92
7.2.3.	Criterios de ventilación para edificios no industriales.	93
7.2.4.	Sistemas de calefacción y aire acondicionado.	93
7.3.	Acciones para prevenir y controlar la contaminación atmosférica en interiores.	95
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	97
8.1.	Conclusiones.	97
8.2.	Recomendaciones.	98
9.	BIBLIOGRAFÍA.	99
	ANEXO. NORMATIVIDAD.	

RESUMEN EJECUTIVO.

La contaminación del aire en interiores se refiere a la presencia de contaminantes en áreas confinadas como: oficinas, casas habitación, centros comerciales, vehículos, etc., y aunque la exposición ocupacional también se puede referir a contaminación en interiores, cabe establecer la diferencia entre este tipo de contaminación presente en industrias, fabricas, centros de almacenamiento, talleres, etc., con la contaminación en los sitios descritos primeramente que son en los cuales se encuentra expuesta la población no involucrada con una actividad industrial.

Se estima entre el 70 y el 95% del tiempo de permanencia de la población en ambientes interiores, lo cual le da una mayor importancia al estudio de la calidad del aire en interiores, además de poder estar presentes varios contaminantes en concentraciones quizá muy por arriba de las encontradas en el exterior. Los primeros estudios en México, década de los noventas, al respecto también encontraron concentraciones de algunos contaminantes presentes en el interior muy por arriba a los niveles del exterior.

El problema de la calidad del aire en interiores se empezó a manifestar a principios de los años 70's cuando la nueva filosofía de construcción 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. 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 fluctúa entre los 50 y 100 billones de dólares al año.

Lo anterior ha dado lugar en gran medida al denominado Síndrome del Edificio Enfermo (*Sick Building Syndrom*), el cual se manifestó 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 en los ocupantes de un edificio que presentan síntomas, los cuales desaparecen cuando los ocupantes salen del edificio pero reaparecen cuando éstos retornan al interior.

Este trabajo consistió en la evaluación de la calidad del aire por ozono, tanto en el exterior como el interior del área de fotocopiado en la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (SCA-CCA-UNAM), y se sugieren medidas de prevención y control de esta emisión y exposición al personal.

En el presente trabajo de investigación se analizaron las bases de datos generadas en el área de fotocopiado de la SCA-CCA-UNAM durante una campaña de monitoreo de 19 meses, que se inició en el mes de Agosto de 1996 hasta Febrero de 1998, la máquina de fotocopiado (marca MINOLTA) operó en un horario de 09:00 – 15:00 horas, de lunes a viernes. Cabe mencionar que durante el estudio se utilizaron dos analizadores de ozono simultáneamente (que operan por el principio de fotometría ultravioleta), uno en el interior y otro en el exterior del área mencionada, operando de una manera continua durante las 24 hrs. del día y todos los días analizados.

Con el propósito de interpretar la tendencia que siguen las concentraciones de ozono, tanto en el exterior como en el interior del área de fotocopiado de la SCA-CCA-UNAM,

se hizo necesario utilizar una herramienta que describe el comportamiento de los fenómenos aleatorios, la Estadística. El aspecto más importante de la estadística es la obtención de conclusiones basadas en datos experimentales válidos.

Los resultados obtenidos, que en este caso son las concentraciones de ozono que se presentan en el área de fotocopiado del CCA-UNAM y en el sitio exterior que es la estación de monitoreo de la calidad del aire (localizada en la azotea del edificio), dicha información obtenida fue analizada estadísticamente con el propósito de identificar los niveles de ozono que se alcanzan en la atmósfera interior así como en el exterior, identificar si existen algunas diferencias significativas entre el aire del interior y del exterior (interior/exterior) mediante pruebas de hipótesis y poder comparar los días laborables y no laborables así como los distintos meses que duró el estudio.

Para ello se utilizó un programa estadístico, SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*), el cual, permite analizar datos de forma multivariada, es decir, se pueden comparar los datos registrados de un evento de forma tan detallada como se desee comparar. El programa contiene diferentes métodos y/o pruebas estadísticas que se pueden ajustar a un cierto modelo en particular.

El total de datos generados que consistió en 16,384 horas evaluadas en el interior así como para el exterior, lo cual permite realizar el análisis estadístico mencionado, además el diseño experimental considerado también permite evaluar las diferencias entre los dos sitios de muestreo, así como la variación de la calidad del aire por ozono, durante los distintos meses del año, los diferentes días de la semana y su comportamiento horario durante el día.

INTRODUCCIÓN.

La exigencia de un aire limpio, en principio lo requiere la población en general, ante su creciente preocupación por los problemas de contaminación atmosférica originados como consecuencia de las actividades humanas y la previsión de que las emisiones cada vez mayores de contaminantes a la atmósfera afecten la salud.

La calidad del aire interior se ha convertido en una causa de preocupación entre un mayor número de personas que permanece en sus horarios de trabajo en edificios sellados (sin ventanas) con sistemas centrales de aire acondicionado. El aire dentro de estos edificios es recirculado, y por consiguiente los contaminantes dentro de los edificios se acumulan gradualmente si no son adecuadamente removidos. Ejemplos de algunas fuentes de contaminantes en interiores son: materiales de construcción, materiales de aislamiento, adhesivos utilizados en alfombras, limpiadores y químicos utilizados en equipo de oficina como fotocopiadora, impresoras, faxes y otros.

En la mayoría de los países industrializados se han establecido valores máximos de concentraciones adecuadas, para los contaminantes atmosféricos más característicos. Estos valores se han fijado a partir de estudios teóricos y prácticos de los efectos que sobre la salud tiene la contaminación al nivel actual y los que puede alcanzar en el futuro. Los efectos se basan principalmente en el análisis epidemiológico.

La calidad del aire interior debe recibir mucha atención últimamente. Cada vez existen más pruebas de que la calidad del ambiente interior puede tener efectos adversos en la salud de los ocupantes de los edificios. La Organización Mundial de la Salud estima que hasta el 30% de los edificios de oficina mundialmente pueden tener problemas significativos, y que entre el 10 y el 30% de los ocupantes de los edificios sufren efectos adversos en su salud y se percibe que dichos efectos están relacionados con una calidad de aire interior, como el deterioro de la calidad del aire en interiores a consecuencia del hábito de fumar.

Las fuentes potenciales de contaminantes en edificios de oficinas incluyen: el humo de tabaco; el polvo; el mantenimiento deficiente de los sistemas de ventilación y aire acondicionado; los materiales de limpieza; los pesticidas; los materiales de construcción; los muebles; los desechos metabólicos de los ocupantes (respiración y transpiración); y los cosméticos. Claro está que prácticamente todas estas fuentes están presentes en algún grado en todo edificio.

Los contaminantes también pueden originarse en el exterior del edificio y/o infiltrarse por las entradas de aire hacia el interior siendo importante también considerar la posible recirculación del aire por parte de los sistemas de aire acondicionado.

El impacto sobre la salud de los individuos expuestos suele darse básicamente sobre el sistema respiratorio o bien por el sistema inmunológico, la piel, el sistema sensorial, el sistema nervioso central y periférico y, el sistema cardiovascular.

Meta.

Evaluar la calidad del aire por ozono tanto en el interior como en el exterior del área de fotocopiado y establecer medidas para minimizar o controlar la concentración de ozono en el interior.

Objetivos.

- Señalar la importancia de la evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores.
- Determinar las concentraciones de ozono en el interior del área de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.
- Analizar estadísticamente los resultados que sobre la calidad del aire interior y exterior por ozono en el área de fotocopiado, ha generado la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera (SCA-CCA-UNAM).
- Obtener la relación interior/exterior de las concentraciones de ozono.
- Comparar los niveles encontrados de ozono tanto en el interior como en el exterior del sitio de fotocopiado con la Norma Mexicana de la Calidad del Aire correspondiente.
- Proponer estrategias para disminuir las concentraciones de ozono que se presentan en el área de fotocopiado, así como para reducir el impacto sobre el personal expuesto.

Actividades realizadas en el área de estudio que pueden impactar nuestra meta.

Se trabajó a partir de una base de datos ya generada la cual consistió en el registro de las concentraciones de ozono tanto en el interior como en el exterior del área de fotocopiado que generó la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (SCA-CCA-UNAM) en el período comprendido de Agosto 1996 a Febrero 1998. Se elaboraron gráficos en hojas de cálculo de Excel para comparar dichas concentraciones máximas horarias promedio de ozono con la Norma Oficial Mexicana de la calidad del Aire para ozono, NOM-020-SSA-1993, que establece el criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono, así mismo se consultó la Norma (NOM-036-ECOL-1993) para conocer los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición (ANEXO. Normatividad).

Se realizó una evaluación de resultados de las concentraciones de ozono por medio de un programa estadístico, SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*), para conocer la tendencia del ozono tanto en el exterior como en el interior del sitio en estudio dependiendo del día de la semana, de los días laborables y no laborables, referente al mes y al año, identificar si existe alguna diferencia significativa entre los dos tipos de ambientes y, con base en estos criterios y/o resultados concluir para proponer medidas de prevención, control y disminución de las concentraciones de ozono que se generan en la máquina de fotocopiado, así como proponer medidas para reducir el impacto potencial sobre el personal expuesto.

Importancia de la calidad del aire en interiores.

Los agentes químicos tóxicos en nuestro hogar pueden afectar a todos, pero especialmente a los niños y a aquellos que son biológicamente sensibles. Debido a que la mayoría de la población reside sólo aproximadamente del 10 al 20% del día fuera de su domicilio, es de vital importancia mejorar la calidad del aire en ambientes interiores entre los cuales se encuentra nuestro hogar.

Un reporte reciente (2006) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EE.UU) explica que "la contaminación del aire interior en las casas, escuelas, oficinas y otros edificios representan un riesgo sobre la salud".

En la actualidad se usan muchos nuevos materiales en la industria de la construcción y del mobiliario. Estas nuevas substancias son sintéticas y muchas son potencialmente tóxicas. El interés crece día con día en relación con la exposición crónica, tóxica de bajo nivel, que produce síntomas que son frecuentemente atribuidos al proceso normal del envejecimiento.

Se ha encontrado que el aire interior frecuentemente contiene más sustancias peligrosas que el aire exterior aún en áreas industrializadas. Este estudio fue realizado por la Agencia de Protección Ambiental Americana (U. S. EPA) y se reporta que en un día típico en el trabajo o en la casa, las personas investigadas respiraron al menos de 2 a 5 veces más sustancias peligrosas dentro de su domicilio que en el exterior (Environmental Research, 2005; 43: 209 – 307).

En la Gran Bretaña (G B.) se realizaron estudios similares y se llegó a las mismas conclusiones que los estudios en los Estados Unidos. Se encontraron más de 200 compuestos químicos en el aire interior, de los cuales, se consideró que 80 tenían importantes consecuencias adversas para la salud (Construction Research Corporation, Ltd. 2000).

En G. B. se recomienda que las casas tengan un completo cambio de aire cada 2 horas. La exposición crónica a las toxinas en el medio ambiente interior, hoy en día ha sido ligada a un vasto espectro de enfermedades que van desde la sinusitis, el asma, los dolores de cabeza, la fatiga, la ansiedad, el insomnio hasta un síndrome de sensibilidad (Public Health Rep. 2006; 113: 398 – 409).

Desde hace varios años la contaminación atmosférica exterior por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ha sido estudiada, presentándose una calidad del aire no satisfactoria.

Al representar los niveles de ozono en la ZMCM un problema a resolver, resulta de suma importancia evaluar la calidad del aire en ambientes interiores, cuyos niveles de contaminantes atmosféricos pueden estar influenciados por los contaminantes provenientes del exterior y existir fuentes generadoras de estos contaminantes en el interior.

Para el caso específico del ozono, un contaminante comúnmente secundario en el aire urbano, puede ser generado y emitirse como producto de la operación de máquinas fotocopiadoras, por lo cual se esperan niveles apreciables de ozono en las áreas cuya actividad sea el de fotocopiado, además de existir una contribución por parte del exterior.

1 ANTECEDENTES.

1.1 *La Contaminación Atmosférica en la ZMCM.*

La atención social y gubernamental a los problemas de contaminación atmosférica en la Ciudad de México es relativamente reciente. A pesar de que las primeras leyes, reglamentos y normas de aplicación nacional se establecieron en la década de los 70's, fue hasta mediados de los 80's cuando el malestar y movilización social motivó el inicio de acciones importantes para cambiar la tendencia aún creciente del deterioro de la atmósfera capitalina.

En 1986 se inició la operación regular de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y con ello la difusión horaria a través de los medios masivos de comunicación del estado de la calidad del aire en la Ciudad de México. Cuatro años después, en 1990, se anunció el primer Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) en la Ciudad de México, siendo que los primeros estudios mostraron este deterioro atmosférico que data desde los años 60's (Bravo et. al. 2003).

Los principales problemas actuales de calidad de aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) están relacionados con las altas concentraciones de ozono (O_3), las cuales llegan a exceder hasta en 2 veces y media el límite establecido por la norma que protege la salud (INEGI, 2006). El ozono excede en más de un 85% el límite recomendado por la Norma de Calidad del Aire para ozono, causando molestias físicas y una mayor incidencia de enfermedades respiratorias en la población. Otro problema importante está constituido por las concentraciones de partículas las cuales exceden también los límites de exposición anual permisibles. En áreas críticas de la ZMCM, densamente pobladas, la norma diaria de partículas respirables (PM_{10}) se excede en más del 50% de los días del año (INE, 2000). Las PM_{10} están asociadas con un aumento sensible en la morbilidad y la mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio.

Durante la última década se ha logrado un avance muy significativo en la reducción de algunos contaminantes atmosféricos en la ZMCM. Los niveles de plomo (Pb) se han reducido en más de un 98% comparados con los niveles de 1988 y ahora están muy por abajo de la norma de calidad del aire para este contaminante. Las concentraciones de bióxido de azufre (SO_2) se encuentran también dentro de la norma que protege la salud y las excedencias a la norma de monóxido de carbono (CO) son muy escasas y localizadas en tiempo y espacio (INEGI, 2006).

A nivel urbano, el transporte constituye la principal fuente de generación de contaminantes. El parque vehicular ha crecido a un ritmo superior al de la población alcanzando más de 3.5 millones de vehículos automotores. Al mismo tiempo, la expansión urbana ha aumentado la complejidad de los movimientos de origen-destino de la población, donde se observa un incremento constante de las distancias y tiempos de recorrido en los vehículos automotores, tanto particulares como de transporte público (INEGI, 2006).

Para alcanzar resultados favorables en el mejoramiento de la calidad del aire, es necesario trabajar en el fortalecimiento de las capacidades institucionales locales; así como en la mejora de sus mecanismos de regulación, de comunicación y participación social, llegando hasta la consolidación de la integración de políticas metropolitanas. La

poca participación de la ciudadanía debe ser fundamental para un desempeño adecuado de la Gestión de la Calidad del Aire en la ZMCM.

Generalmente, los países o ciudades donde se desarrolla una fuerte participación social y programas adecuados de educación ambiental cuentan con una base sólida de infraestructuras políticas, caracterizadas por un alto índice de alfabetismo y con una tradición democrática.

Al concluir el año 2006 de acuerdo a las autoridades la calidad del aire en la ZMCM, presenta condiciones de poca mejoría para contaminantes como el ozono, debido a que sus concentraciones máximas han continuado excediendo la Norma Mexicana de la Calidad del Aire para este contaminante; sin embargo, ya que la norma de calidad del aire indica 0.11 ppm promedio horario máximo en un día, no más de una vez al año en un período de tres años esta muy lejos de tener una calidad del aire satisfactoria en la ZMCM, actualmente representa alrededor de 1,440 horas al año por arriba de límite de la norma mencionada (ZMCM 2007).

Investigaciones han encontrado un decremento en los niveles máximos de ozono (picos); sin embargo, los valores medios que se han incrementado están todavía por arriba de la Norma Mexicana de Calidad del Aire para ozono, a esto se le denomina Efecto Pistón (Bravo et. al. 2003).

Como puede observarse la información oficial sobre la calidad del aire en la ZMCM se limita al ambiente exterior por lo cual resulta de suma importancia la investigación en cuestión.

1.2 Calidad del Aire.

1.2.1 Calidad del Aire Interior.

➤ Introducción.

La conexión entre el uso de un edificio como lugar de trabajo o vivienda y la aparición, en algunos casos, de molestias y síntomas que responden a la definición de una enfermedad es un hecho que ya no puede cuestionarse. La causa principal responsable es la contaminación de diversos tipos de contaminantes presentes en el material del edificio, que suele denominarse "*mala calidad del aire en interiores*". Los efectos adversos debidos a esa deficiente calidad del aire en espacios cerrados afecta a muchas personas, ya que se ha demostrado que los habitantes de las ciudades pasan entre el 70 y el 95 % de su tiempo en un ambiente interior que se encuentra contaminado en mayor o menor grado; esto es un problema que se ha visto agravado por la construcción de edificios diseñados para ser más herméticos y que reciclan el aire con una proporción menor de aire fresco procedente del exterior con el fin de aumentar su rentabilidad energética. Actualmente se acepta de forma general que los edificios que carecen de ventilación natural presentan un riesgo de exposición a diversos contaminantes presentes en el interior (Nathanson, 2000).

El término *aire interior* suele aplicarse a ambientes interiores no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en ambientes interiores pueden ser de la misma magnitud, y algunas veces mayores, que las encontradas habitualmente en el aire exterior.

La evaluación de la calidad del aire en interiores representa un gran reto ya que a diferencia de los ambientes industriales el problema está identificado con las sustancias manejadas en el proceso o involucradas con la actividad industrial, en ambientes interiores como el hogar o la oficina el problema existe a causa de varios factores como por ejemplo, fuentes generadoras de contaminación en el interior y las condiciones ambientales como humedad relativa y temperatura.

Los cambios en el estado de salud de una persona debidos a la mala calidad del aire interior pueden manifestarse en diversos síntomas agudos y crónicos así como en diversas enfermedades específicas (IARC, 2006). Todos ellos se ilustran en la Figura 1.1.

Figura 1.1. Síntomas y enfermedades relacionados con la calidad del aire interior. Fuente: (IARC, 2006).

OJOS.

Sequedad, picor/escozor, lagrimeo, enrojecimiento.

VIAS RESPIRATORIAS.

(Nariz y garganta). Sequedad, picor/escozor, congestión nasal, goteo nasal, estornudos, dolor de garganta.

PULMONES.

Opresión torácica, sensación de ahogo, tos seca, bronquitis.

PIEL.

Enrojecimiento, sequedad, picor generalizado y localizado.

GENERAL.

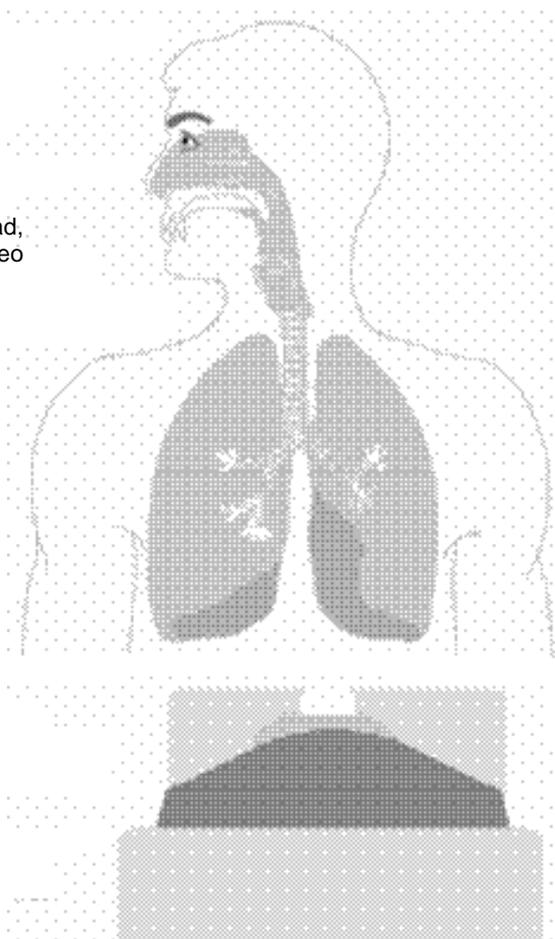
Cefalea, debilidad, dificultad para concentrarse, irritabilidad, ansiedad, náuseas, mareo.

**ENFERMEDADES MÁS FRECUENTES:
HIPERSENSIBILIDAD.**

Neumonitis por hipersensibilidad, fiebre por humidificadores, asma, rinitis, dermatitis.

INFECCIONES.

Tuberculosis, resfriado común, gripa. De origen químico o físico desconocido incluyendo el cáncer.



Por lo tanto resulta difícil establecer con precisión en qué medida la mala calidad del aire interior puede afectar a la salud, ya que no se dispone de suficiente información con respecto a la relación entre la exposición y el efecto a las concentraciones a las que suelen estar presentes los contaminantes.

Por otro lado, aunque se conocen bien los efectos de la exposición aguda a muchos contaminantes presentes en el aire, existen importantes lagunas en los datos relativos a las exposiciones a largo plazo a concentraciones bajas y a mezclas de diferentes de ellos. Los conceptos de nivel sin efecto (NSE), efecto nocivo y efecto tolerable, confusos incluso en el ámbito de la toxicología industrial, son aquí aún más difíciles de

definir. Se han realizado pocos estudios concluyentes sobre este tema, tanto relativos a edificios públicos y oficinas como a viviendas particulares (Berenguer et. al., 2002).

Existen normas para la calidad del aire en el exterior establecidas con el fin de proteger a la población general. Son útiles como directrices generales para conseguir una calidad aceptable del aire interior; las propuestas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) son un ejemplo de estas normas. Se han establecido criterios técnicos como el valor límite umbral de la conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) de Estados Unidos y los valores límite legalmente establecidos para ambientes industriales en diferentes países, para los trabajadores adultos y para duraciones específicas de exposición que, por lo tanto, no pueden aplicarse directamente a la población general. La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, ASHRAE) de Estados Unidos ha elaborado una serie de normas y recomendaciones, muy utilizadas para la valoración de la calidad del aire en interiores.

Otro aspecto que debe considerarse como parte de la calidad del aire interior son los olores. Debe tenerse en cuenta que la percepción de un olor puede deberse a los olores de numerosos compuestos diferentes y que la temperatura como la humedad también puede modificar sus características. Desde el punto de vista de la percepción, son tres las características que nos permiten definir y medir los olores: intensidad, calidad y tolerabilidad (Berenguer, 1991).

Cuando más del 20% de los ocupantes de un edificio se quejan de la calidad del aire o presentan síntomas claros se puede afirmar que existe el fenómeno conocido como *síndrome del edificio enfermo*. Se manifiesta en diversos problemas físicos y ambientales asociados a interiores no industriales. Los casos de *síndrome del edificio enfermo* suelen ir acompañados de las características siguientes: las personas afectadas presentan síntomas indeterminados, similares a los del resfriado común o a los de las enfermedades respiratorias; los edificios son eficientes en ahorro de la energía y tienen un diseño y una construcción modernos o han sido remodelados recientemente con materiales nuevos y, los ocupantes no pueden controlar la temperatura, la humedad ni la iluminación de su lugar de trabajo (Berenguer, 1991).

Las causas más frecuentes de *síndrome del edificio enfermo* es la ventilación insuficiente debida a falta de mantenimiento, distribución deficiente y entrada insuficiente de aire limpio; contaminación generada en el interior, como la producida por las máquinas de fotocopiado, el humo del tabaco y los productos de limpieza; contaminación procedente del exterior del edificio debida a una disposición inadecuada de las entradas de aire y de los puntos de aspiración; contaminación microbiológica del agua estancada en los conductos del sistema de ventilación, humidificadores y torres de refrigeración, formaldehído y otros compuestos orgánicos emitidos por los materiales de construcción y decoración (Godish, 1990).

La calidad del aire interior, incluida la de las casas habitación, se ha convertido en un problema de salud ambiental, como el control de la calidad del aire en el exterior o la exposición en el trabajo. Ahora bien, ya se ha comentado que una persona residente en un área urbana pasa entre el 75 y el 90% de su tiempo en un ambiente interior, y las personas más susceptibles (esto es, los ancianos, los niños pequeños y los enfermos) son las que más tiempo están en esas condiciones.

La contaminación en interiores comenzó a preocupar a partir de 1973 cuando, debido a la crisis energética, los esfuerzos dirigidos a la conservación de energía se

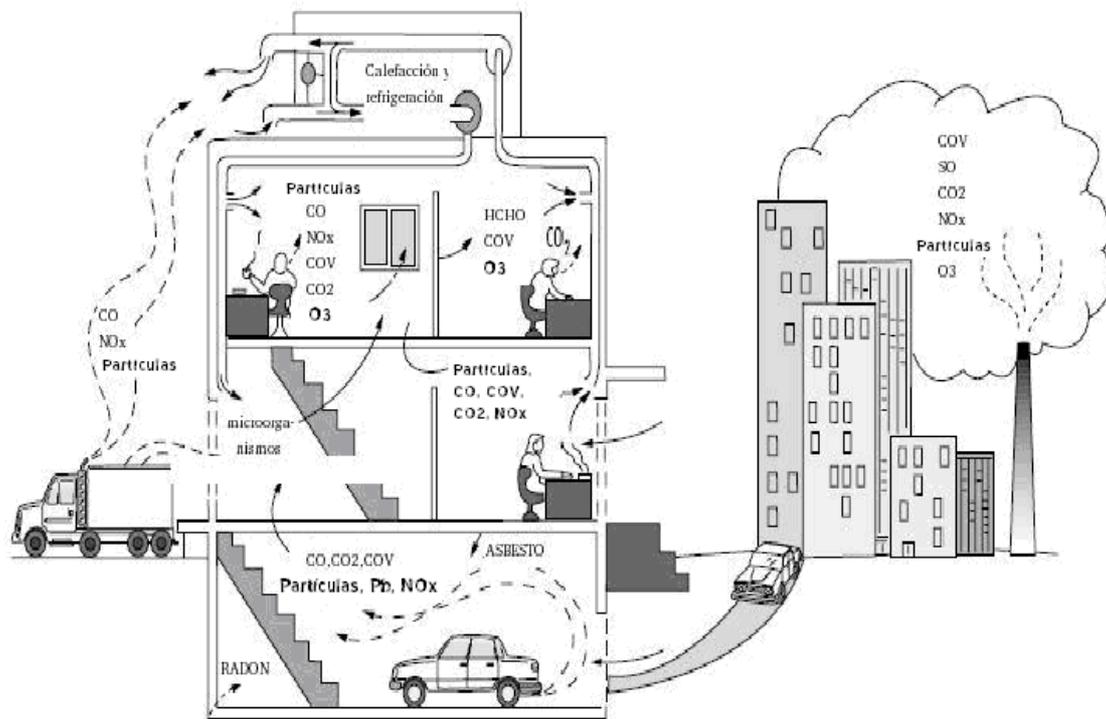
concentraron en la reducción de la entrada del aire exterior a los espacios interiores con aire acondicionado en la mayor medida posible, con el fin de disminuir los costos de calefacción y refrigeración de los edificios. Aunque no todos los problemas relacionados con la calidad del aire interior son consecuencia de medidas en materia de ahorro de energía, es evidente que conforme fue generalizándose ese principio, comenzaron a aumentar las quejas sobre la calidad del aire interior y a surgir estos problemas (Dudney y Copenhaver, 1990).

Otro asunto de interés es la presencia de microorganismos en el aire interior, lo que puede causar problemas de carácter infeccioso y alérgico. Por ejemplo, en el suelo y en la atmósfera suelen hallarse diversos hongos y bacterias que se nutren de materia orgánica muerta, los cuales se han detectado también en ambientes interiores. Los problemas de contaminación biológica en interiores han sido objeto de interés en los últimos años (Namiesnik, 1992).

➤ Aspectos del Sistema de Ventilación.

La calidad del aire interior en un edificio depende de una serie de variables, como la calidad del aire del exterior, el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del aire, las condiciones en que opera y se mantiene este sistema, la división en compartimentos del edificio y las fuentes interiores de contaminantes y su magnitud (véase la Figura 1.2). En resumen, puede afirmarse que los defectos más frecuentes son consecuencia de una ventilación inadecuada, de la contaminación generada en el interior y de la procedente del exterior (ACGIH, 2006).

Figura 1.2. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminación de interior y de exterior. Fuente: (ACGIH, 2006).



CO: Monóxido de Carbono; CO2: Dióxido de Carbono; HCHO: Formaldehído; NOx: Óxidos de Nitrógeno; Pb: Plomo; Partículas; COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles

Las causas de una ventilación inadecuada pueden ser: una entrada insuficiente de aire fresco debido a un nivel alto de recirculación del aire o a un bajo volumen de entrada; la colocación y orientación incorrectas en el edificio de los puntos de entrada de aire del exterior; una distribución deficiente y, en consecuencia, una mezcla incompleta con

el aire del edificio, lo que puede originar estratificación, zonas no ventiladas, diferencias de presión no previstas que originan corrientes de aire y filtración incorrecta del aire debida a la falta de mantenimiento o a un diseño inadecuado del sistema de limpieza de aire, en caso de existir.

➤ Origen de los Contaminantes.

La contaminación en el interior tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos químicos (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado); los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios); y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia áreas vecinas, afectándolas. Está claro que las sustancias emitidas en el aire interior tienen pocas oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible. En lo que respecta a la contaminación biológica, su origen se debe fundamentalmente a la presencia de agua estancada, de materiales impregnados con agua, gases, etc., y a un mantenimiento incorrecto de los humidificadores (AESPW, 2004).

Debe considerarse también la contaminación procedente de fuentes del exterior que con respecto a fuentes antropogénicas destacan las fuentes móviles y las fuentes estacionarias o fijas. En el caso de las fuentes fijas están considerados las industrias y servicios principalmente. Los cinco contaminantes primarios más importantes emitidos por estas fuentes son: monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COVs), incluidos los hidrocarburos y, las partículas. La combustión interna de los vehículos es la principal fuente de monóxido de carbono e hidrocarburos y una fuente importante de óxidos de nitrógeno. La combustión en fuentes estacionarias es el principal origen de los óxidos de azufre. Los procesos industriales y las fuentes estacionarias de combustión generan más de la mitad de las partículas emitidas al aire por la actividad humana, y los procesos industriales pueden ser fuente de compuestos orgánicos volátiles.

La composición del aire exterior varía de un lugar a otro, en función de la presencia y la naturaleza de las fuentes de contaminación circundantes y de la dirección del viento predominante.

Los contaminantes presentes en el aire interior se diluyen con el aire exterior que entra en el edificio. Cuando la concentración de un contaminante es menor en el aire del exterior que en el del interior, el intercambio de ambos causará la reducción de la concentración del contaminante en el aire interior del edificio. Si un contaminante se origina en el exterior y no en el interior, ese intercambio producirá un aumento de su concentración en el interior (NIOSH, 2006).

Entre los contaminantes más habituales en el aire interior se encuentran, aparte de los procedentes del exterior, los metales, materiales fibrosos, el formaldehído, el ozono, los plaguicidas y los compuestos orgánicos en general, el radón, el polvo doméstico y los aerosoles biológicos. A ellos se añade una amplia variedad de microorganismos, como los hongos, las bacterias y los virus de los cuales los hongos y las bacterias son los que mejor se conocen.

➤ Investigación de la Calidad del Aire Interior.

La solución a los problemas de la calidad del aire interior requiere a menudo un equipo de expertos en calefacción, ventilación e higiene industrial, química analítica, toxicología, medicina ambiental, microbiología, epidemiología y en psicología. Cuando se realiza un estudio sobre la calidad del aire interior, los objetivos establecidos

influirán profundamente en su diseño y en las actividades dirigidas a la toma de muestras y la evaluación (Lewis y Wallace, 1990).

La duración de tal investigación dependerá del tiempo necesario para obtener muestras representativas, y dependerá de las condiciones meteorológicas.

En la determinación de contaminantes en el aire interior se utilizan diferentes instrumentos dependiendo de la meta del estudio a realizar así pueden ser: monitores continuos e instrumentos de muestreo (activos, pasivos, de medición en un sitio específico y personales). Actualmente existen procedimientos adecuados para medir los niveles de formaldehído, de óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de azufre, ozono y de radón, entre otros.

1.2.2 Naturaleza y fuentes de los Contaminantes Químicos en el Interior.

➤ Fuentes de Contaminación en Interiores.

Los contaminantes químicos del aire interior pueden ser gases, vapores (inorgánicos y orgánicos), partículas, etc., que pueden penetrar desde el ambiente exterior o bien haberse generado dentro del mismo edificio. La importancia relativa del origen interior o exterior varía según los distintos contaminantes.

En la tabla 1.1 se presentan algunos ejemplos de contaminantes y las fuentes de emisiones más comunes que pueden asociarse con una disminución de la calidad del aire en interiores (NIOSH, 2006).

Además de la calidad del aire interior, que resulta afectada por contaminantes químicos y biológicos, el *síndrome del edificio enfermo* se atribuye a muchos otros factores, algunos son físicos: como el calor, el ruido y la iluminación; otros son psicosociales: entre los cuales destacan la organización del trabajo, las relaciones laborales, el ritmo de trabajo y la carga de trabajo.

He aquí los contaminantes químicos principales y más comunes en el aire interior (Knoppel y Wolkoff, 1992):

1. Bióxido de carbono (CO₂), se genera cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono. También es un producto de la respiración y de la fermentación de las plantas.
2. Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y bióxido de azufre (SO₂), gases de combustión inorgánicos formados fundamentalmente durante la combustión de combustibles y de ozono (O₃), producto de reacciones fotoquímicas en atmósferas contaminadas aunque también puede ser liberado por algunas fuentes de interiores como las máquinas de fotocopiado, impresoras y faxes.
3. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) que se originan a partir de diversas fuentes interiores y del exterior. En el aire interior hay cientos de compuestos químicos orgánicos, aunque la mayoría están presentes a concentraciones muy bajas.

Tabla 1.1. Los contaminantes de interiores más comunes y sus fuentes. Fuente: (NIOSH, 2006).

Situación.	Fuentes de emisión.	Contaminante.
Exterior.	Fuentes fijas.	
	Establecimientos industriales, producción de energía.	Bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas, monóxido de carbono, compuestos orgánicos.
	Automóviles.	Monóxido de carbono, plomo, óxidos de nitrógeno, COVs.
	Suelo.	Radón, microorganismos.
Interior.	Materiales de construcción.	
	Piedra.	Radón.
	Compuestos de madera, chapeado.	Formaldehído, compuestos orgánicos.
	Aislamiento.	Formaldehído, fibra de vidrio.
	Ignífugos.	Asbesto.
	Pintura.	Compuestos orgánicos, plomo.
	Equipos e instalaciones.	
	Sistemas de calefacción, cocinas.	Monóxido y bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos, partículas.
	Fotocopiadoras.	Ozono.
	Sistemas de ventilación.	Fibras, microorganismos.
	Ocupantes.	
	Actividad metabólica.	Bióxido de carbono, vapor de agua, olores.
	Actividad biológica.	Microorganismos.
Actividad humana.		
Hábito de fumar.	Monóxido de carbono, partículas.	
Ambientadores.	Fluorocarburos, olores.	
Limpieza.	Compuestos orgánicos, olores y COVs	
Ocio, actividades artísticas.	Compuestos orgánicos, olores.	

Tales Compuestos Orgánicos Volátiles pueden agruparse en función de su punto de ebullición y 1 atm; en la tabla 1.2 se muestra una clasificación muy utilizada que identifica cuatro grupos de compuestos orgánicos: a) *Compuestos Orgánicos Muy Volátiles* (COMV); b) *Compuestos Orgánicos Volátiles* (COV); c) *Compuestos Orgánicos Semivolátiles* (COSV), y d) *Compuestos Orgánicos Asociados a Partículas* (COAP) (OMS, 2000).

Una característica importante de los contaminantes del aire interior es que sus concentraciones varían espacial y temporalmente más que las del exterior debido a la gran variedad de fuentes de emisión.

Tabla 1.2. Clasificación de los Compuestos Orgánicos Volátiles. Fuente: (OMS, 2000).

Categoría	Descripción	Abreviatura	Intervalo de ebullición °C	Métodos de muestreo utilizados en estudios de campo.
1	Compuestos orgánicos muy volátiles (gaseosos).	COMV	<0 a 50 – 100	Muestreo de lotes, adsorción en carbón vegetal activado.
2	Compuestos orgánicos volátiles	COV	50 – 100 a 240 - 260	Adsorción en Tenax, carbón vegetal
3	Compuestos orgánicos semivolátiles	COSV	240 – 260 a 380 - 400	Adsorción es espuma de poliuretano.
4	Materia orgánica particulada	MOP	380	Filtros

Otras emisiones, como la liberación de formaldehído a partir de productos con base de madera, varían con los cambios de temperatura y de humedad del edificio. La emisión de compuestos químicos orgánicos a partir de otros materiales puede depender de las condiciones de temperatura y humedad, pero sus concentraciones en el aire interior dependerán en gran medida de las condiciones de ventilación (COST 613, 2005).

Dentro de un edificio puede haber grandes diferencias por lo que se refiere a fuentes localizadas en un sitio específico: es el caso de las fotocopiadoras en una oficina central, los hornos de gas en la cocina de un restaurante y las zonas restringidas para el consumo de tabaco.

➤ Fuentes del Interior.

Los niveles elevados de contaminantes generados por combustión, en particular de bióxido de nitrógeno y monóxido de carbono en espacios interiores, suelen proceder de aparatos de combustión mal ventilados o con un mantenimiento deficiente y, en algunas áreas por el consumo de tabaco en áreas no adecuadas. Los calentadores de queroseno y de gas no ventilados emiten cantidades importantes de CO, CO₂, NO_x, SO₂, partículas y formaldehído. Las cocinas y hornos de gas también liberan estos productos en el ambiente interior

Humo de Tabaco Ambiental (HTA).

La contaminación del aire interior por el humo de tabaco procede del flujo lateral y del flujo principal de humo exhalado y, generalmente recibe el nombre de humo de tabaco ambiental (HTA). Se han identificado varios componentes diferentes del humo del tabaco, cuyas cantidades individuales varían en función del tipo de cigarrillo y de las condiciones de producción del humo. Los principales compuestos químicos asociados al HTA son: nicotina, nitrosaminas, CO, CO₂, NO_x, acroleína, formaldehído y cianuro de hidrógeno (IARC, 2006).

Materiales y Mobiliario de Edificios.

Los materiales que más interés han despertado como fuentes de contaminación del aire interior han sido los tableros a base de madera y los aislantes de paredes que contienen resina de urea-formaldehído. El formaldehído que emiten estos productos eleva los niveles del mismo en los edificios, fenómeno que se ha asociado a numerosos casos de mala calidad del aire interior. En la tabla 1.3 se presentan ejemplos de materiales que liberan formaldehído en los edificios, y se muestra que las tasas más elevadas de emisión pueden estar asociadas a los objetos con base de madera y los aislantes de paredes con resina de urea-formaldehído (COST 613 y OMS, 2000).

Tabla 1.3. Tasa de emisión de Formaldehído de diversos materiales de decoración y productos de consumo. Fuente: (COST 613, 2005).

	Rango de tasas de emisión de formaldehído ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$)
Paneles de fibra	17 600 – 55 000
Paneles de pared de madera dura Aglomerado	1 500 – 34 000
Aislamiento de espuma de urea-formaldehído	2 000 – 25 000
Contrapachado de madera	1 200 – 19 200
Productos de papel	240 – 720
Productos de fibra de vidrio	260 – 680
Telas	400 – 470
Suelo	35 – 570
Alfombras	< 240
Tapicería	0 – 65
	0 – 7

En la Tabla 1.4 se dan ejemplos de las tasas de emisión de COVs para varios materiales de construcción. En ellos se observa que existen diferencias importantes en las emisiones entre unos productos y otros, lo que significa que si se utilizarán datos suficientes sólo de emisiones de COVs de varios materiales se podrían elegir los materiales adecuados en la fase de planificación para reducir al mínimo la liberación de COVs en edificios de nueva construcción.

Tabla 1.4. Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (COVT) y tasas de emisión asociadas a los diversos recubrimientos y revestimientos de suelos y paredes. Fuente: (ACGIH, 2006).

Tipo de material	Concentraciones (mg/m^3)	Tasa de emisión ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$)
Papel de pared		
Vinilo y papel	0.95	0.04
Vinilo y fibra de vidrio	7.18	0.30
Papel pintado	0.74	0.03
Recubrimiento de pared		
Hessian	0.09	0.005
PVC ^a	2.43	0.10
Textil	39.60	1.60
Textil	1.98	0.08
Recubrimiento de suelo		
Lino	5.19	0.22
Fibras sintéticas	1.62	0.12
Goma	28.40	1.40
Plástico blando	3.84	0.59
PVC homogéneo	54.80	2.30
Revestimiento		
Látex acrílico	2.00	0.43
Barniz, epoxi transparente	5.45	1.30
Barniz, poliuretano	38.90	4.70
Barniz endurecido con ácido	3.50	0.83

^aPVC, polivinil cloruro

Productos de consumo y otras fuentes de contaminación interior.

La diversidad y número de productos de consumo y domésticos varía constantemente, y sus emisiones químicas dependen de cómo se utilizan. Entre los productos que pueden influir en los niveles de COVs en el interior se encuentran los aerosoles, los artículos de higiene personal, los disolventes, los adhesivos y las pinturas. En la tabla

1.5 se muestran los principales componentes químicos presentes en varios productos de consumo (ACGIH, 2006).

Tabla 1.5. Componentes y emisiones de productos de consumo y otras fuentes de Compuestos Orgánicos Volátiles. Fuente: (ASTM, 2000).

Fuente	Compuesto	Tasa de emisión
Agentes de limpieza y plaguicidas	Cloroformo	15 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	1,2-Dicloroetano	1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	1,1,1-Tricloroetano	37 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	Tetracloruro de carbono	71 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	<i>m</i> -Diclorobenceno	0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	<i>p</i> -Diclorobenceno	0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	<i>n</i> -Decano	0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
	<i>n</i> -Undecano	1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Antipolilla	<i>p</i> -Diclorobenceno	14 000 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Ropas limpiadas en seco	Tetracloroetileno	0.5 – 1 $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$
Cera de suelo líquida	COVT (trimetilpenteno e isómeros de dodecano)	96 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Cera en pasta para piel	COVT (pineno y 2-metil-1-propanol)	3.3 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Detergente	COVT (limoneno, pineno y miceno)	240 $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$
Emisiones humanas	Acetona	50.7 $\text{mg}/\text{día}$
	Acetaldehído	6.2 $\text{mg}/\text{día}$
	Ácido acético	19.9 $\text{mg}/\text{día}$
	Alcohol metílico	74.4 $\text{mg}/\text{día}$
Papel de copia	Formaldehído	0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
Humidificador de vapor	Dietilaminoetanol, ciclohexilamina	----
Fotocopiadora húmeda	2,2,4-trimetilheptano	----
Disolventes domésticos	Tolueno, etilbenceno	----
	Quita pinturas	Diclorometano, metanol
Quita pinturas	Diclorometano, tolueno, propano	----
Protector de tela	1,1,1-tricloroetano, propano, destilados del petróleo	----
Pintura de látex	2-propanol, butanona, etilbenceno, tolueno	----
Refrescador de habitación	Nonato, decano, etilheptano, limoneno	----
Agua de ducha	Cloroformo, tricloroetileno	----

1.2.3 Radón.

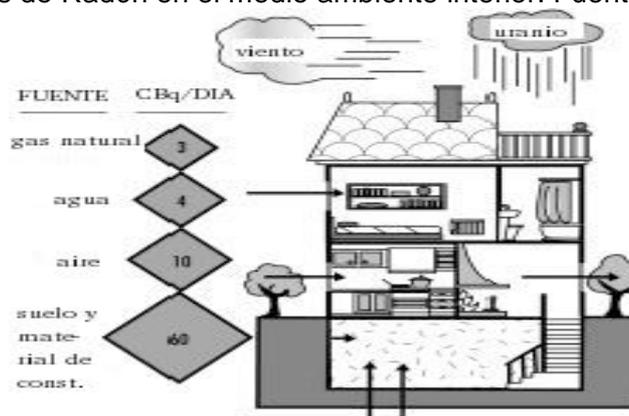
La mayor parte de la radiación a la que se expone un ser humano durante su vida procede de fuentes naturales del espacio exterior o de materiales presentes en la corteza de la Tierra. Los materiales radiactivos pueden afectar al organismo desde fuera o, si son inhalados o ingeridos con alimentos, desde dentro.

En la actualidad, el radón se considera la fuente más frecuente de radiación (α) natural. Junto con los radio – isótopos formados durante su desintegración, el radón constituye aproximadamente tres cuartas partes de la dosis eficaz equivalente a la que los seres humanos están expuestos debido a fuentes terrestres naturales. La presencia de radón se asocia a un aumento de la incidencia de cáncer de pulmón debido al depósito de sustancias radiactivas en la región bronquial (Miller, 1993).

El radón se encuentra en materiales existentes y fluye de la tierra en cualquier lugar. Debido a sus características, se dispersa fácilmente en el exterior, pero tiene tendencia a concentrarse en espacios cerrados, sobre todo en edificios, y en especial en espacios más pequeños en los que su eliminación es difícil sin una ventilación adecuada (PNUMA, 2005).

La principal fuente de radón en los espacios interiores es el radio presente en el suelo sobre el que descansa el edificio o los materiales utilizados en su construcción. Otras fuentes importantes —aunque su influencia relativa es mucho menor— son el aire exterior, el agua y el gas natural. En la Figura 1.3 se muestra la aportación de cada fuente al total (PNUMA, 2005).

Figura 1.3. Fuentes de Radón en el medio ambiente interior. Fuente: (PNUMA, 2005).



El radón puede mezclarse con el agua y en el gas natural del subsuelo. El agua utilizada para abastecer un edificio, sobre todo si procede de pozos profundos, puede contener radón. Si ésta agua se utiliza para cocinar, la cocción puede liberar gran parte del radón que contiene. Si el agua se consume fría, el cuerpo elimina el gas rápidamente, por lo que su ingestión no suele entrañar un riesgo importante. La combustión del gas natural en estufas sin chimenea, en calentadores o en otros aparatos puede causar también un aumento de radón en espacios interiores, especialmente en las viviendas.

El problema se agrava en los cuarto de baño, debido a que el radón contenido en el agua y en el gas natural utilizado para el calentador del agua se acumula si la ventilación no es suficiente. Dado que los posibles efectos del radón sobre la población en general no se han conocido hasta hace pocos años, los datos disponibles sobre las concentraciones existentes en espacios interiores se limitan a los países que, debido a sus características o circunstancias especiales, están más sensibilizados con este problema. Lo que sí se sabe es que en una misma región es posible encontrar concentraciones en espacios interiores muy superiores a las concentraciones del exterior (Miller, 1993).

1.2.4 Humo de Tabaco.

La exposición al humo del tabaco induce al desarrollo de bronquitis crónica en los trabajadores. Entre ellas se encuentran las exposiciones al polvo de carbón, cemento y grano, a los aerosoles de sílice, a los vapores producidos durante las soldaduras y al dióxido de azufre (U. S. EPA, 2003).

La bronquitis crónica en los trabajadores a menudo se agrava por el consumo de cigarrillos (U. S. EPA, 2003). Los datos epidemiológicos han demostrado claramente

que los mineros del uranio y los trabajadores que fuman cigarrillos presentan un riesgo de padecer cáncer del aparato respiratorio significativamente mayor que los trabajadores de estas profesiones que no fuman. El efecto cancerígeno del uranio y del consumo de cigarrillos no sólo es aditivo, sino también sinérgico en la inducción del carcinoma de células escamosas de pulmón (U. S. EPA, 2003; Hoffmann y Wynder 1976; Saccomanno et al., 1990).

➤ Naturaleza Físicoquímica de Humo de Tabaco Ambiental (HTA).

Corriente central y corriente lateral.

El HTA se define como el material presente en el aire interior procedente del humo de tabaco. En general, la fuente principal del HTA es el humo de los cigarrillos, aunque también contribuye el humo de tabaco de pipa y de puros. El HTA es un aerosol compuesto que emana principalmente del cono de combustión de un producto del tabaco entre las aspiraciones. La emanación se denomina corriente de humo lateral. En menor proporción, el HTA también contiene componentes de humo de corriente central; es decir, aquellos que exhala el fumador. En la tabla 1.6 se muestran las proporciones de los agentes tóxicos principales y de los agentes cancerígenos en el humo inhalado, en el humo de corriente central y en el humo de corriente lateral (Hoffmann y Hecht 1990; Brunnemann y Hoffmann 1991; Guerin et. al., 2001; Luceri et. al., 1993).

Tabla 1.6. Algunos agentes tóxicos y tumorígenos en la corriente de humo lateral de los cigarrillos no diluido. Fuente: (Hoffmann y Hecht, 1990).

Compuesto	Tipo de toxicidad ^a	Cantidad en el humo de corriente lateral por cigarrillo	Relación del humo lateral respecto al humo central
Fase vapor			
Monóxido de carbono	T	26.80 – 61 mg	2.5 – 14.9
Carbonil sulfuro	T	2-3 µg	0.03 – 0.13
1,3-Butadieno	C	200 – 250 µg	3.8 – 10.8
Benceno	C	240 – 490 µg	8 – 10
Formaldehído	C	300 – 1 500 µg	10 – 50
Acroleína	T	40 – 100 µg	8 – 22
3-Vinilpiridina	T	330 – 450 µg	24 – 34
Cianuro de hidrógeno	T	14 – 110 µg	0.06 – 0.4
Hidracina	C	90 ng	3
Óxidos de nitrógeno	T	500 – 2 000 µg	3.7 – 12.8
N-Nitrosodimetilamina	C	200 – 1 040 ng	12 – 440
N-Nitrosodietilamina	C	ND ^b – 1 000 ng	< 40
N-Nitrosopirrolidina	C	7 – 700 ng	4 – 120
Fase particulada			
Alquitrán	C	14 – 30 mg	1.1 – 15.7
Nicotina	T	2.1 – 46 mg	1.3 – 21
Fenol	IT	70 – 250 µg	1.3 – 3.0
Catecol	CoC	58 – 290 µg	0.67 – 12.8
2-Toluidina	C	2.0 – 3.9 µg	18 – 70
β-Naftilamina	C	19 – 70 ng	8.0 – 39
4-Aminobifenilo	C	3.5 – 6.9 ng	7.0 – 30
Benzo(a)antraceno	C	40 – 200 ng	2 – 4
Benzo(a)pireno	C	40 – 70 ng	2.5 – 20
Quinolina	C	15 – 20 µg	8 – 11
NNN ^c	C	0.15 – 1.7 µg	0.5 – 5.0
NNK ^d	C	0.2 – 1.4 µg	1.0 – 22
N-Nitrosodietanolamina	C	43 ng	1.2
Cadmio	C	0.72 µg	7.2
Níquel	C	0.2 – 2.5 µg	13 – 30
Zinc	T	6.0 ng	6.7
Polonio-210	C	0.5 – 1.6 pCi	1.06 – 3.7

^aC=cancerígeno; CoC=cocancerígeno; T=tóxico; IT=inductor tumoral. ^bND=no detectado.

^cNNN=N-Nitrosomonocotina. ^dNNK=4-(metilnitrosamino)-1-(3-piridil)-1-butanona.

HTA en el aire interior.

Aunque la corriente de humo lateral contiene cantidades más elevadas de componentes tóxicos y cancerígenos que la corriente de humo central, el humo inhalado por los no fumadores se encuentra muy diluido en el aire y sus propiedades están alteradas a causa de la degradación de algunas especies reactivas. En la tabla 1.7 se exponen datos referidos a agentes tóxicos y cancerígenos presentes en muestras de aire interior con varios grados de contaminación por humo de tabaco (Hoffmann y Hecht 1990; Brunnemann y Hoffmann 1991; Luceri et. al., 1993).

Tabla 1.7. Algunos agentes tóxicos y tumorígenos en ambientes interiores contaminados con humo de tabaco. Fuente: (Hoffmann y Hecht, 1990).

Contaminante	Lugar	Concentración/m ³
Oxido nítrico	Salas de trabajo	50 – 440 µg
	Restaurantes	17 – 240 µg
	Bares	80 – 250 µg
	Cafeterías	2.5 – 48 µg
Dióxido de nitrógeno	Salas de trabajo	68 – 410 µg
	Restaurantes	40 – 190 µg
	Bares	2 – 116 µg
Cianuro de hidrógeno	Cafeterías	67 – 200 µg
	Cuartos de estar	8 – 122 µg
1,3-Butadieno	Bares	2.7 – 4.5 µg
Benceno	Lugares públicos	20 – 317 µg
Formaldehído	Cuartos de estar	2.3 – 5.0 µg
	Tabernas	89 – 104 µg
Acroleína	Lugares públicos	30 – 120 µg
Acetona	Cafés	910 – 1 410 µg
Fenoles (volátiles)	Cafés	7.4 – 11.5 ng
N-Nitrosodimetilamina	Bares, restaurantes, oficinas	< 10 – 240 ng
N-Nitrosodietilamina	Restaurantes	< 10 – 30 ng
Nicotina	Residencias	0.5 – 21 µg
	Oficinas	1.1 – 36.6 µg
	Edificios públicos	1.0 – 22 µg
2-Toluidina	Oficinas	3.0 – 12.8 ng
	Salón de cartas con fumadores	16.9 ng
β-Naftilamina	Oficinas	0.27 – 0.34 ng
	Salón de cartas con fumadores	0.47 ng
4-Aminobifenilo	Oficinas	0.1 ng
	Salón de cartas con fumadores	0.11 ng
Benzo(a)antraceno	Restaurantes	1.8 – 9.3 ng
Benzo(a)pireno	Restaurantes	2.8 – 760 µg
	Salas de fumadores	88 – 214 µg
	Cuartos de estar	10 – 20 µg
NNN ^a	Bares	4.3 – 22.8 ng
	Restaurantes	ND ^b – 5.7 ng
NNK ^c	Bares	9.6 – 23.8 ng
	Restaurantes	1.4 – 3.3 ng
	Coches con fumadores	29.3 ng

^aNNN=N-Nitrosomonocotina

^bND=No detectado

^cNNK=4-(meilnitrosamino)-1-(3-piridil)-1-butanona.

- Indicadores biológicos de la captación de HTA por las personas no fumadoras.

Aunque muchos trabajadores no fumadores están expuestos al HTA en el lugar de trabajo, en restaurantes, en sus propios domicilios o en otros espacios cerrados, es prácticamente imposible valorar la captación real de HTA por un individuo. La

exposición al HTA puede determinarse de forma más exacta cuantificando los constituyentes específicos del humo de tabaco o sus metabolitos en los líquidos fisiológicos o en el aire exhalado.

El indicador biológico más utilizado para la exposición al HTA de los no fumadores es la cotinina, un metabolito principal de la nicotina. Se determina mediante cromatografía de gases o por radioinmunoanálisis en sangre ó, preferiblemente, en orina, y refleja la absorción de nicotina a través del pulmón y de la cavidad oral.

➤ Humo del Tabaco Ambiental y Salud Humana.

Otros trastornos además del cáncer.

La exposición prenatal y la exposición posnatal precoz al humo del tabaco aumentan la probabilidad de que aparezcan complicaciones debido a las infecciones respiratorias virales en los niños durante su primer año de vida.

En las publicaciones científicas se hallan varias docenas de informes clínicos procedentes de varios países, en los que se observa que los hijos de padres fumadores, sobre todo los menores de dos años de edad, presentaron un aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias agudas (U. S. EPA 2003; Medina et. al., 1992; Riedel et. al., 1990). En otros estudios también se describe un aumento de las infecciones del oído en niños expuestos al humo de los cigarrillos consumidos por los padres.

Los varones y las mujeres expuestos al HTA en el lugar de trabajo (oficinas, bancos, instituciones académicas, etc.) durante diez o más años presentaban un deterioro de la función pulmonar (White y Froeb 1990; Masi et. al., 1990).

Determinación y valoración de los Contaminantes Químicos.

Desde el punto de vista de la contaminación, el aire interior no industrial muestra varias características que lo diferencian del aire exterior, o aire atmosférico, y del aire del medio ambiente industrial. Además de los contaminantes presentes en el aire atmosférico, el aire interior también contiene contaminantes generados por los materiales de construcción y por las actividades que tienen lugar en el interior del edificio. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior tienden a ser mayores, iguales o inferiores a las existentes en el aire atmosférico, dependiendo de la ventilación.

➤ Análisis.

La mayoría de los métodos empleados en higiene industrial se basan en la toma de muestras y sus análisis; muchos de estos métodos pueden aplicarse al aire interior si se consideran varios factores: ajustar los métodos a los niveles de concentración habituales en el aire interior, aumentar su sensibilidad sin reducir la precisión (por ejemplo, aumentando el volumen del aire muestreado) y validar su especificidad (Nageda et. al., 1990).

Las determinaciones de la emisión para la calidad del aire interior permiten conocer la influencia de diferentes fuentes de contaminación, de las condiciones climáticas, de las características del edificio y de la actividad humana. Las determinaciones de la concentración nos permiten establecer el nivel de contaminación del aire interior en las diferentes áreas del edificio divididas en compartimentos, haciendo posible la creación de un mapa de la contaminación del aire en interiores.

El lugar elegido debe ser el más apropiado y representativo para obtener muestras. Para ello debe conocerse el edificio que se está estudiando: su orientación, número de horas que recibe luz solar directa, el número de pisos, el tipo de división en compartimentos, si la ventilación es natural o artificial, si pueden abrirse las ventanas, etc. También es necesario conocer el origen de los problemas; por ejemplo, si se producen en los pisos superiores o inferiores, o en las áreas próximas o distantes a las ventanas, o en las áreas con una ventilación o iluminación deficientes, en los puertos de infiltración, entre otros.

La contaminación puede detectarse inicialmente por la mañana, durante la jornada de trabajo o al final del día; puede presentarse al comienzo o al final de la semana; durante el invierno o el verano; cuando el aire acondicionado está conectado o desconectado; o bien en otros momentos.

En la dinámica del ambiente interior influyen la diversidad y variabilidad de las emisiones por las fuentes de contaminación, las diferencias físicas de los espacios estudiados, el tipo de separación de compartimentos, el tipo de ventilación y climatización utilizada, las condiciones atmosféricas exteriores (viento, temperatura, etc.) y las características del edificio (número de ventanas, su orientación, etc.) (Rafferty et. al., 1990).

Los objetivos de las determinaciones definirán si la toma de muestras se llevará a cabo durante intervalos de tiempo cortos o largos.

Técnicas de determinación.

Los métodos disponibles para tomar muestras del aire interior para su análisis pueden agruparse en dos tipos: métodos basados en una lectura directa y métodos en los que se toman muestras para un posterior análisis (Scheff y Wadden, 1990).

Los métodos basados en una lectura directa son aquellos en los que la toma de la muestra y la determinación de la concentración de contaminantes se realizan de forma automática; son rápidos y las determinaciones son instantáneas, por lo que proporcionan datos precisos a un costo relativamente bajo.

Los métodos de toma de muestras y los análisis pueden clasificarse en *activos* (o dinámicos) y *pasivos*, dependiendo de la técnica (Yocom y McCarthy, 1991).

Con los sistemas activos, los contaminantes pueden captarse haciendo pasar el aire a través de un adsorbente en los que se atrapa el contaminante, concentrando así la muestra. El proceso se lleva a cabo con filtros y soluciones absorbentes o reactivas colocadas en burbujeadores o impregnadas en material poroso, a través de los cuales se hace pasar el aire y se analizan los contaminantes o los productos de reacción. Para el análisis de las muestras de aire obtenidas por sistemas activos se requiere un captador, una bomba para mover el aire y un sistema para medir el volumen de aire muestreado, bien directamente o bien utilizando datos sobre el flujo y la duración.

Los sistemas pasivos capturan contaminantes por difusión o permeación sobre una base que puede ser un adsorbente sólido, bien solo o impregnado con un reactivo específico. Son sistemas más cómodos y fáciles de utilizar que los sistemas activos. No requieren bombas para tomar la muestra. Los tiempos de toma de muestra pueden ser largos, y los resultados son concentraciones promedio en el tiempo de muestreo.

Selección del método.

Para seleccionar el mejor método de muestreo, en primer lugar debe determinarse que existen métodos validados para los contaminantes en estudio y comprobarse que se dispone de los instrumentos y materiales apropiados para coleccionar y analizar el contaminante. Generalmente es necesario saber cuál será el costo y la sensibilidad requerida para el trabajo, así como conocer los elementos que pueden interferir en la determinación, dependiendo del método escogido (Yocom y McCarthy, 1991).

➤ Procedimientos analíticos.

La metodología disponible hasta ahora se basa en la adaptación de métodos utilizados para controlar, analizar y evaluar la calidad del aire atmosférico del exterior y la del aire del medio ambiente industrial (Wadden y Scheff, 1990).

Los monitores de lectura directa se utilizan para controlar el perfil de contaminación, pero pueden no ser adecuados si son demasiado ruidosos o voluminosos. Actualmente se están diseñando monitores más pequeños y más silenciosos con una mayor precisión y sensibilidad. En la Tabla 1.8 se muestra un esquema del estado actual de los métodos utilizados para medir los diferentes tipos de contaminantes (Godish, 1990).

Tabla 1.8. Métodos utilizados para el análisis de contaminantes químicos. Fuente: (Godish, 1990).

Contaminante	Monitor de lectura directa ^a	Muestreo y análisis
Monóxido de carbono	+	+
Bióxido de carbono	+	+
Bióxido de nitrógeno	+	+
Formaldehído	-	+
Bióxido de azufre	+	+
Ozono	+	+
COV	+	+
Plaguicidas	-	+
Partículas	+	+

^a ++ = utilizados con gran frecuencia; + = utilizados con menor frecuencia; - = no aplicable

Análisis de Gases.

Los métodos activos son los más utilizados para el análisis de gases, y se llevan a cabo utilizando soluciones absorbentes o sólidos adsorbentes, o tomando directamente una muestra de aire con contenedor inerte y hermético. También debe tenerse cuidado al transportar y almacenar la muestra (conservándola a baja temperatura y reduciendo el tiempo transcurrido hasta su análisis). Los métodos de lectura directa se utilizan con gran frecuencia para medir gases, por la considerable mejora de las prestaciones de los monitores modernos, más sensibles y precisos que antes (Guardino, 1991).

➤ Monóxido y Bióxido de Carbono (CO, CO₂).

Contaminantes habituales del aire interior, se determinan utilizando monitores que los detectan directamente por medios electroquímicos o infrarrojos. También pueden determinarse tomando muestras de aire directamente en contenedores inertes y analizando la muestra mediante cromatografía de gases con un detector de ionización de llama, que transforma los gases a metano por medio de una reacción catalítica antes de su detección (Freixa, 2006).

➤ Bióxido de Nitrógeno (NO₂).

Se han desarrollado diversos métodos para detectar el bióxido de nitrógeno, NO₂, en el aire interior utilizando monitores pasivos y tomando muestras para un análisis posterior, pero estos métodos han mostrado problemas de sensibilidad que probablemente se resolverán en el futuro. El método más conocido es el tubo de Palmes, que tiene un límite de detección de 300 ppb (Freixa, 2006).

➤ Bióxido de Azufre.

Para determinar el bióxido de azufre, SO₂, en un ambiente interior se utiliza un método espectrofotométrico: se hace burbujear la muestra de aire a través de una solución de tetracloromercuriato para formar un complejo estable que, a su vez, se determina espectrofotométricamente después de reaccionar con pararosanilina (Freixa, 2006).

Otros métodos se basan en la fotometría de flama y en fluorescencia ultravioleta pulsante, también existen métodos basados en la derivación de la determinación antes del análisis espectroscópico. Es un tipo de detección utilizado para monitores de aire atmosférico, aunque no es adecuado para el análisis del aire interior debido a la falta de especificidad ya que muchos de estos monitores requieren un sistema de ventilación para eliminar los gases que generan.

➤ Ozono.

El ozono, O₃, sólo puede encontrarse en ambientes interiores en situaciones especiales en las que se genera de forma continua. Se determina mediante métodos de lectura directa, tubos colorimétricos y métodos de quimioluminiscencia. La muestra se obtiene con una solución absorbente de yoduro de potasio (KI) en un medio neutral y a continuación se somete a análisis espectrofotométrico (Freixa, 2006).

➤ Formaldehído.

El formaldehído es un contaminante potencial del aire interior, y debido a sus propiedades químicas y tóxicas se recomienda una evaluación específica. Existen diferentes métodos para detectar el formaldehído en el aire, todos ellos basados en la toma de muestras para un análisis posterior, con fijación activa o por difusión. El método de captura más apropiado dependerá del tipo de muestra (emisión o concentración) utilizado y de la sensibilidad del método analítico. Los métodos tradicionales se basan en la obtención de una muestra haciendo pasar el aire a través de agua destilada o de una solución de bisulfato sódico al 1% a 5°C, y a continuación analizándolo por métodos espectro-fluorométricos (Freixa, 2006).

➤ Detección de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

Los métodos utilizados para medir o monitorizar los vapores orgánicos en el aire interior deben cumplir una serie de criterios: tener una sensibilidad del orden de partes por billón (ppb) a partes por trillón (ppt), los instrumentos utilizados para tomar la muestra o realizar la lectura directa deben ser portátiles y fáciles de manejar y, los resultados obtenidos deben ser precisos y susceptibles de duplicación. Son muchos los métodos que cumplen estos criterios, pero los más utilizados para analizar el aire interior se basan en la toma de muestras y el análisis. Existen métodos de detección directa que consisten en cromatógrafos de gases portátiles con diferentes métodos de detección (Otson y Fellin, 1992).

➤ Detección de plaguicidas.

Los métodos empleados habitualmente para detectar plaguicidas en el aire interior consisten en la toma de muestras con adsorbentes sólidos, aunque no se descarta el uso de burbujeadotes. Los métodos de análisis varían de acuerdo con el método de muestreo y el plaguicida a determinar. Generalmente se analizan por cromatografía de

gases con diferentes detectores específicos, desde captura de electrones hasta espectrometría de masas (Morey y Feeley, 1990).

➤ **Detección de partículas suspendidas (PST).**

Para la captura y análisis de partículas en el aire se dispone de una gran variedad de técnicas y equipos adecuados para su valoración. Los monitores que permiten una lectura directa de la concentración de partículas en el aire utilizan detectores de luz, mientras que en los métodos basados en la toma de muestras se usa el análisis gravimétrico y el análisis con un microscopio (Wanner et. al., 1993; ASHRAE, 2005).

1.2.5 Contaminación Biológica.

Aunque existe una amplia variedad de partículas de origen biológico (bio-partículas) en el aire interior, en la mayoría de los ambientes de trabajo de interior los microorganismos (microbios) tienen gran importancia para la salud. Además de microorganismos (como virus, bacterias, hongos y protozoos), el aire interior puede contener granos de polen, fragmentos de insectos y ácaros y sus productos de excreción (Wanner et. al., 1993). Además de los aerosoles biológicos también puede haber compuestos orgánicos volátiles que emanan de organismos vivos, como las plantas y los microorganismos presentes en el interior.

1.2.6 Antecedentes legales contra el Tabaquismo en el Distrito Federal.

Con relación a la contaminación del aire en interiores en México no existe legislación alguna, se tiene para el caso específico del Distrito Federal la Ley de Protección a la salud de los no fumadores.

Asamblea Legislativa del Distrito Federal.

Ley de Protección a la salud de los no fumadores en el Distrito Federal.

Publicado el 04 de Marzo de 2008.

Capítulo I

Disposiciones generales

ARTÍCULO 1. El presente Reglamento tiene por objeto proteger la salud de las personas de los efectos nocivos causados por la exposición al humo del tabaco, con la reducción del consumo de éste, principalmente, en lugares públicos cerrados.

ARTÍCULO 2. Para efectos de este Reglamento, se entenderá por:

- I. Ley, a la Ley General de Salud.
- II. Secretaría, a la Secretaría de Salud.

ARTÍCULO 3. La protección de la salud de los efectos nocivos del humo de tabaco comprende lo siguiente:

- I. El derecho de las personas no fumadoras a no estar expuestas al humo del tabaco en los sitios cerrados que comparten con fumadores.
- II. La orientación a la población para que se abstenga de fumar en el hogar, los centros de trabajo y en lugares públicos.
- III. La prohibición de fumar en los edificios públicos que se señalan en este Reglamento.
- IV. El apoyo a los fumadores, cuando lo soliciten, para abandonar el tabaquismo con los tratamientos correspondientes.

- V. La información a la población sobre los efectos nocivos del consumo de tabaco y la promoción de su abandono.

ARTÍCULO 4. La interpretación del presente Reglamento corresponde a la Secretaría, y su aplicación a ésta y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia, de conformidad con los acuerdos de coordinación que, en su caso, se suscriban.

Capítulo II

Programa contra el tabaquismo

ARTÍCULO 5. Las acciones para la ejecución del programa contra el tabaquismo se ajustarán a lo dispuesto en este capítulo, sin perjuicio de lo que establezcan las demás disposiciones aplicables.

ARTÍCULO 6. La prevención del tabaquismo tiene carácter prioritario, principalmente en la infancia y la adolescencia, y comprenderá las siguientes acciones:

- I. La promoción de la salud, que considerará el desarrollo de actitudes y conductas que favorezcan estilos de vida saludables en la familia, el trabajo y la comunidad.
- II. La orientación a la población sobre los riesgos a la salud por el consumo de tabaco.
- III. La inclusión de contenidos acerca del tabaquismo en programas y materiales educativos.
- IV. La orientación a la población para que se abstenga de fumar en el hogar, centro de trabajo y en los lugares públicos.
- V. La detección temprana del fumador.
- VI. La promoción de espacios libres de humo de tabaco.
- VII. El fortalecimiento de la vigilancia sobre el cumplimiento de la regulación sanitaria relativa a las restricciones para la venta de tabaco.
- VIII. El establecimiento de políticas tendientes a disminuir el acceso al tabaco.

ARTÍCULO 7. El tratamiento del tabaquismo comprenderá las acciones tendientes a:

- I. Conseguir que las personas que lo deseen puedan abandonar el hábito.
- II. Reducir los riesgos y daños causados por el consumo de tabaco.
- III. Abatir los padecimientos asociados al consumo de tabaco.
- IV. Atender y rehabilitar a quienes tengan alguna enfermedad atribuible al consumo de tabaco.
- V. Incrementar el grado de bienestar físico, mental y social tanto del consumidor de tabaco como de su familia y compañeros de trabajo.

ARTÍCULO 8. La investigación sobre el tabaquismo considerará:

- I. Sus causas, que comprenderá, entre otros:
 - a. Los factores de riesgo individual y social.
 - b. Los problemas de salud y sociales asociados con el consumo de tabaco.
 - c. La magnitud, características, tendencias y alcances del problema.
 - d. Los contextos socioculturales del consumo.
 - e. Los efectos de la publicidad sobre el consumo, y
- II. El estudio de las acciones para controlarlo, que comprenderá, entre otros:
 - a. La valoración de las medidas de prevención y tratamiento.
 - b. La información sobre:
 1. La dinámica del problema del tabaquismo.
 2. La prevalencia del consumo de tabaco.

3. Las necesidades y recursos disponibles para realizar las acciones de prevención y control del consumo de tabaco.
 4. La conformación y tendencias de la morbilidad y mortalidad atribuibles al tabaco.
 5. El cumplimiento de la regulación sanitaria en la materia.
 6. El impacto económico del tabaquismo y
- c. El conocimiento de los riesgos para la salud asociados al consumo de tabaco.

La información a que se refiere el presente artículo deberá integrarse en el sistema de información sobre adicciones.

CAPÍTULO III.

Consumo de tabaco.

ARTÍCULO 9. Excepto en las áreas a que se refiere el siguiente artículo, se prohíbe fumar en:

- A. El interior de los edificios que a continuación se enumeran:
- I. Edificios públicos propiedad de la Federación, entendidos todos aquéllos, del dominio público o privado de la Federación, que ésta haya adquirido por cualquier título jurídico;
 - II. Edificios que alberguen oficinas o dependencias de la Federación, así como de sus organismos públicos autónomos, que comprende a los utilizados por:
 - a. La Cámara de Diputados,
 - b. La Cámara de Senadores,
 - c. La Suprema Corte de Justicia de la Nación,
 - d. El Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación,
 - e. Los tribunales colegiados y unitarios de circuito,
 - f. Los juzgados de distrito,
 - g. El Consejo de la Judicatura Federal,
 - h. La Comisión Nacional de los Derechos Humanos,
 - i. El Instituto Federal Electoral,
 - j. El Banco de México,
 - k. El Tribunal Superior Agrario,
 - l. El Tribunal Fiscal de la Federación,
 - m. La Presidencia de la República,
 - n. Las secretarías de Estado,
 - o. La Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal,
 - p. La Procuraduría General de la República,
 - q. Los organismos descentralizados,
 - r. Las empresas de participación estatal y
 - s. Los fideicomisos públicos, y
 - III. Edificios en los que se prestan servicios públicos de carácter federal, tales como:
 - a. Aeropuertos y terminales aéreas,
 - b. Centrales camioneras,
 - c. Estaciones de ferrocarril,
 - d. Terminales e instalaciones portuarias, y
 - e. Instituciones educativas.

-
- B. Las unidades hospitalarias y clínicas de los sectores público, social y privado que constituyen el Sistema Nacional de Salud, que incluye:
- I. Institutos Nacionales de Salud;
 - II. Hospitales;
 - III. Sanatorios;
 - IV. Clínicas;
 - V. Unidades médicas;
 - VI. Centros de salud;
 - VII. Consultorios médicos, dentales y de otras disciplinas relacionadas, y
 - VIII. Laboratorios clínicos, gabinetes de diagnóstico y tratamiento.
- C. Cualquier otra instalación en la que se presten servicios públicos federales, ya sea directamente por instituciones públicas o por los particulares.

ARTÍCULO 10. En los edificios e instalaciones a que se refiere el artículo anterior se destinará un área para que los trabajadores, visitantes o usuarios, que así lo deseen, puedan fumar, la cual deberá:

- I. Estar aislada de las áreas de trabajo;
- II. Tener ventilación hacia el exterior o un sistema de extracción o purificación de aire;
- III. Ubicarse, de acuerdo con la distribución de trabajadores, por piso, área o edificio, y
- IV. Estar identificada como área de fumar, con señalización clara y visible.

El área a que se refiere el presente artículo no podrá utilizarse como un sitio de recreación. Los superiores jerárquicos darán facilidades para que el personal que fuma pueda acceder a las áreas definidas para este fin, y le facilitarán el apoyo en tiempo que soliciten para asistir a terapias que lo ayuden a dejar de fumar.

ARTÍCULO 11. En los edificios a que se refiere el artículo 9 del presente Reglamento deberán fijarse en lugares visibles avisos o símbolos que expresen la prohibición de fumar e identifiquen las áreas en donde está permitido fumar. Fuera de las áreas reservadas para fumadores, no deberán existir ceniceros de ningún tipo.

En la entrada o entradas de los edificios, pisos o áreas identificadas como libres de humo de tabaco, se colocará un cenicero de piso con la siguiente leyenda: "Por favor apague su cigarro antes de entrar. En este edificio existen áreas específicas designadas para fumar" o cualquier otra similar.

ARTÍCULO 12. En el caso de los servicios públicos concesionados por el Gobierno Federal, en la concesión respectiva se establecerá la condición para el concesionario de adoptar las medidas necesarias para el debido cumplimiento del presente capítulo dentro de las instalaciones destinadas a brindar el servicio público.

ARTÍCULO 13. Los titulares de las unidades administrativas que ocupen o utilicen las instalaciones a que se refiere el artículo 9 de este Reglamento, apoyados por los responsables de su área administrativa, o los concesionarios de los servicios públicos de carácter federal, según el caso, coadyuvarán a que en dichas instalaciones se observe lo dispuesto en el presente Reglamento.

ARTÍCULO 14. Cuando alguna de las personas mencionadas en el artículo anterior o sus subordinados adviertan que alguna persona está fumando fuera de las áreas reservadas para ello deberá exhortarla a dejar de fumar o a cambiarse a las áreas identificadas para tal propósito.

ARTÍCULO 15. Los titulares de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal difundirán lo dispuesto en este capítulo y sus beneficios entre sus trabajadores, usuarios y visitantes.

CAPÍTULO IV *Coordinación*

ARTÍCULO 16. Para la instrumentación y ejecución de las medidas y acciones a que se refiere el presente capítulo, la Secretaría promoverá la coordinación con los gobiernos de las entidades federativas, mediante la suscripción de los respectivos acuerdos.

ARTÍCULO 17. La Secretaría procurará que en los acuerdos a que se refiere el artículo anterior se consideren los siguientes aspectos:

- I. Las acciones que, para la ejecución del programa contra el tabaquismo, realizará la entidad federativa de que se trate;
- II. La creación de clínicas y servicios para la atención del fumador, y
- III. La creación de centros estatales contra las adicciones.

ARTÍCULO 18. La Secretaría impulsará que los gobiernos de las entidades federativas promuevan las reformas legales y administrativas necesarias y adopten las medidas que se estimen convenientes para evitar y prohibir que se fume en las oficinas de sus respectivas unidades administrativas, en donde se atiende al público y en lugares públicos.

CAPÍTULO V *Vigilancia*

ARTÍCULO 19. Corresponde a la Secretaría la vigilancia del cumplimiento del presente Reglamento. Los titulares de las dependencias o entidades auxiliados por el Oficial Mayor del Ramo o equivalente, y con la participación de los órganos internos de control, coadyugarán en la vigilancia del presente Reglamento y, cuando encontraren irregularidades que, a su juicio, constituyan violaciones al mismo, lo harán del conocimiento de la Secretaría.

CAPÍTULO VI *Sanciones*

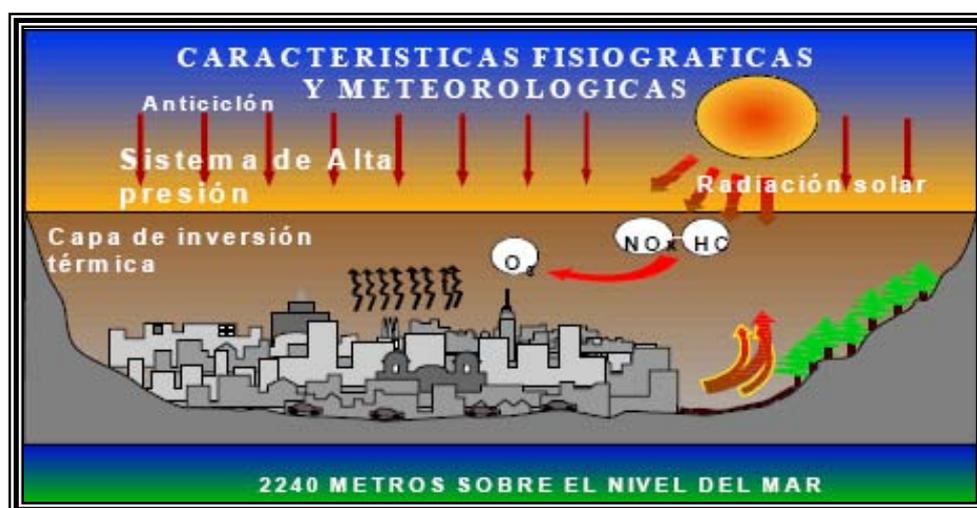
ARTÍCULO 20. La inobservancia a lo dispuesto en el artículo 9 será sancionada con amonestación con apercibimiento y cuando se trate de reincidencia por tercera ocasión y sucesivas, con multa de una a cinco veces el salario mínimo general diario vigente en la zona económica de que se trate.

ARTÍCULO 21. Se sancionará con multa hasta cincuenta veces el salario mínimo general diario vigente en la zona económica de que se trate, la inobservancia de las disposiciones contenidas en los artículos 10 y 11.

2 EL OZONO.

La combinación de las emisiones a la atmósfera y los factores físicos y meteorológicos de la Ciudad de México incide directamente en los niveles de contaminación en la Ciudad. El entorno físico donde se ubica la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) dificulta la dispersión y transporte de los contaminantes. Esto se debe principalmente a que la Ciudad se encuentra rodeada de montañas así como siendo una cuenca dificulta la libre circulación del viento de los contaminantes atmosféricos que se generan diariamente. Por otro lado, se presentan sistemas anticiclónicos, los cuales afectan grandes extensiones del territorio nacional junto con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Figura 2.1.

Figura 2.1. Características fisiográficas y meteorológicas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.



La presencia de inversiones térmicas y vientos moderados en superficie limitan el transporte, la ventilación y dificultan la dispersión de contaminantes, ocasionando un estancamiento temporal de los mismos. Por su parte, la intensa radiación solar, la emisión de contaminantes y temperatura adecuada favorecen la formación de ozono y otros contaminantes fotoquímicos. La altura de la Ciudad, ubicada a 2,240 metros sobre el nivel del mar, dificulta los procesos de combustión y tiende por lo tanto a incrementar la emisión de contaminantes a la atmósfera.

2.1 Características del Ozono.

2.1.1 Proceso de formación.

El ozono es un gas oxidante que se forma como consecuencia de reacciones fotoquímicas en la atmósfera entre los diversos contaminantes precursores, tales como los óxidos de nitrógeno (NO_x), y compuestos orgánicos volátiles reactivos (COVs). Estos contaminantes primarios que favorecen o dan lugar a la formación del ozono troposférico se les conoce, también, bajo el nombre de precursores de ozono (Seinfeld, 2006).

El ozono es consecuencia de reacciones químicas que tienen como reactivos contaminantes primarios y secundarios, tanto antropogénicos como de origen natural, que se activan debido a la temperatura ambiente adecuada y a la radiación UV solar. Por ello, el ciclo diurno adquiere gran importancia para comprender la evolución de los niveles de concentración de ozono en la atmósfera. Además, el ozono –una vez producido- reacciona de nuevo con otros compuestos primarios iniciales en caso de existir en la atmósfera. (Turnipseed, 2006).

En la alta atmósfera (por encima de 80km) los fotones de alta energía ($\lambda \sim 0.2\mu\text{m}$) atacan al oxígeno molecular (Wark and Kenneth, 1998):



Esto da por resultado que el oxígeno exista solamente como O monoatómico en esta región. A más bajas alturas, el oxígeno monoatómico experimenta algunas reacciones. Dos de ellas son recombinaciones para formar O_2 y, más importante, la combinación con el O_2 para formar ozono, O_3 :



donde M es un tercer compuesto capaz de aceptar energía. El ozono (O_3) experimenta cambios fotoquímicos ($\lambda \sim 0.2 - 0.29\mu\text{m}$) de modo que:



El resultado final es que crea una capa de ozono por encima de la superficie terrestre, con la mayor concentración (0.03 ppm) en la región entre 16 y 32km sobre la superficie terrestre (Wark and Kenneth, 1998).

En las áreas donde las emisiones de la industria pesada se combinan con emisiones de fuentes móviles, la atmósfera recibe grandes cantidades de SO_2 y NO, que son agentes reductores, e hidrocarburos, que por lo general no tienen fuerza oxidante. En ausencia de la luz solar, el SO_2 y el NO se convertirían lentamente en sulfatos y nitratos; no existirían entonces las condiciones que ahora predominan en las áreas urbanas (Wark and Kenneth, 1998).

El monóxido de nitrógeno (NO) es liberado por fuentes estacionarias y móviles, tiende a oxidarse a NO_2 por medio de la reacción:



La formación del ozono en la troposfera se atribuye por lo general al ciclo fotolítico del bióxido de nitrógeno (NO_2). Para las radiaciones por debajo de $0.38\mu\text{m}$, el gas se disocia por medio de la reacción:



Ésta es una de las reacciones fotoquímicas más importantes en la atmósfera interior, puesto que se produce el oxígeno monoatómico (O), altamente reactivo. El oxígeno monoatómico se combina con el O_2 (en presencia de un tercer compuesto) para formar ozono mediante la reacción b). Luego, el ozono oxida el monóxido de nitrógeno a bióxido de nitrógeno. En resumen, el ciclo fotolítico del bióxido de nitrógeno se puede representar por (Wark and Kenneth, 1998):



2.1.2 Efectos del Ozono sobre el organismo y en la salud pública.

Varios grupos de personas son particularmente sensitivos al ozono, especialmente cuando realizan actividades al aire libre, la actividad física causa que las personas respiren más rápida y profundamente. Los niños son el grupo de mayor riesgo por exposición al ozono porque en general pasan una gran parte del verano jugando al aire libre. Los niños tienen una mayor probabilidad de padecer asma, la cual puede empeorar debido a la exposición al ozono (U. S. EPA, 2000).

Los adultos que hacen ejercicios o trabajan arduamente al aire libre están más expuestos al ozono que las personas que son menos activas. Las personas con asma u otras enfermedades de las vías respiratorias son más vulnerables a los efectos del ozono y por lo presentan efectos en la salud de manera más temprana y a niveles de ozono más bajos que los individuos menos sensitivos (U. S. EPA, 2000).

En general, a medida que las concentraciones de ozono aumentan, más personas sienten los efectos de salud, más serios se vuelven los efectos, y más personas son admitidas a los hospitales por problemas respiratorios (U. S. EPA 2000). Cuando los niveles de ozono son muy altos, todos nos debemos preocupar por la exposición al ozono.

El ozono puede irritar el sistema respiratorio, provocando tos, causando irritación en la garganta y/o una sensación incómoda en el pecho. El ozono puede reducir la función pulmonar y hacer más difícil la respiración.

Cuando esto sucede, podríamos notar que la respiración comienza a sentirse incómoda. Si nos encontramos haciendo ejercicios o trabajando al aire libre, podríamos notar que estamos respirando más rápida y superficialmente que lo normal. El ozono puede empeorar el asma. Cuando los niveles de ozono son altos, más personas con asma tienen ataques que requieren atención médica o el uso adicional de medicamentos (U. S. EPA, 2000).

El ozono puede empeorar las enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis y reducir la capacidad del sistema inmunológico para defender al sistema respiratorio de las infecciones bacterianas (U. S. EPA, 1993).

Los niños y adultos de todas las edades que realizan actividades al aire libre tienen mayor riesgo de salud al exponerse al ozono. El ozono puede dañar el revestimiento de los pulmones. Las siguientes fotografías muestran una vía respiratoria pulmonar saludable (izquierda) y una vía inflamada (derecha) (U. S. EPA, 2000).



El ozono puede causar daño permanente al pulmón. Repetido daño a corto plazo en los pulmones en desarrollo de los niños puede resultar en una función pulmonar reducida en edad adulta. En los adultos, la exposición al ozono puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre como parte del proceso normal de envejecimiento (U. S. EPA, 1999).

El efecto dañino del ozono también puede ocurrir sin ninguna señal o síntoma. Las personas que viven en zonas donde los niveles de ozono son frecuentemente altos pueden notar que sus síntomas iniciales desaparecen con el tiempo — particularmente cuando la exposición a los niveles altos de ozono continúa durante varios días. El ozono continúa causando daño pulmonar aún cuando los síntomas hayan desaparecido.

La mejor manera de proteger su salud es mantenerse informado acerca de los niveles elevados de ozono en su localidad y tomar precauciones sencillas para minimizar la exposición aún cuando no tenga síntomas obvios.

El Índice de Calidad del Aire, (Air Quality Index, AQI), es una escala para reportar los niveles verdaderos de ozono y de otros contaminantes comunes en el aire. Mientras mayor sea el valor del AQI, mayor deberá ser la preocupación por la salud. Tal como se muestra en la tabla 2.1, la escala de AQI se ha dividido en categorías que corresponden a diferentes niveles de riesgo por la salud (U. S. EPA, 2000).

Se ha asignado un color específico a cada categoría de AQI. Por ejemplo, el rojo significa condiciones “dañinas a la salud” y el púrpura significa condiciones “muy dañinas a la salud”. Este esquema de colores puede ayudar a determinar rápidamente si los contaminantes del aire están alcanzando niveles muy dañinos a la salud en el lugar donde habitamos (U. S. EPA, 2000).

Tabla 2.1. Índice de la Calidad del Aire para ozono (U. S. EPA, 2000).

ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE		
Valores del índice	Clasificación	Precauciones para protegerse del ozono
0 - 50	Buena	Ninguna
51 - 100	Moderada	Las personas sensibles deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre
101 - 150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, tales como el asma, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre
151 - 200	Dañina a la salud	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, tales como el asma, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre; todos los demás, especialmente los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre
201 - 300	Muy dañina a la salud	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre; todos los demás, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos al aire libre

2.2 Contaminación Atmosférica por Ozono en Interiores.

Las pruebas efectuadas en máquinas de fotocopiado (Selway et. al., 1980; Allen et. al., 1978) y limpiadores electrostáticos del aire, de tamaños domésticos e industriales (Allen et. al., 1978) han demostrado que estos equipos constituyen fuentes emisoras de interiores de ozono. En la tabla 2.2 se suministran factores apropiados de emisión.

En las máquinas de fotocopiado se han medido las concentraciones en la zona de respiración del operador, hasta valores de equilibrio de 0.068 ppm en condiciones normales de trabajo. Se mostró que la limpieza y mantenimiento de las máquinas de fotocopiado reducía temporalmente la emisión pero regresaba a las tasas anteriores en el término de 15 días (Selway et. al., 1980).

Las descargas de hidrocarburos (medidas como destilados de petróleo) han resultado en concentraciones en el aire de hasta 1.05 mg/m³. durante 7.5 h (NIOSH, 1991), a pesar de que no se dispone de datos de emisiones.

Emisiones de ozono procedente de máquinas de fotocopiado y limpiadores domésticos del aire (Selway et. al., 1980; Allen et. al., 1978)

Tabla 2.2. Factores de emisión apropiados a fuentes de interiores. Fuente: (Wadden y Scheff, 1983).

Descripción del equipo	Voltaje máximo.	Factores de emisión del ozono. µg/min
Limpiadores electrostáticos del aire instalados en sistemas centrales de aire acondicionado.	5 000 – 7 900	0 – 546
Limpiadores electrostáticos del aire, fabricados por empresas muy conocidas (en los sistemas centrales de aire acondicionado)	-----	303 – 1 212
		µg/copia ^e
11 máquinas de fotocopiado	3 500 – 11 000	Rango < 2 -158 Por lo general 15 – 45

3 MÁQUINAS DE FOTOCOPIADO COMO FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINACIÓN.

3.1 Máquinas de Fotocopiado (Modelo Minolta).

➤ *Máquinas de proyección. Imagen de la foto.*

El desarrollo de la electrofotografía en 1960 revolucionó el mercado de la máquina de fotocopiado. Esta máquina ha ganado un lugar muy amplio en el mercado y es la más rápida actualmente, es sin duda el método más conveniente y económico de obtener un número de copias de una sola original. Mucha de la tecnología de la electrofotografía también se ha empleado en el desarrollo de otro mobiliario de oficinas tales como impresoras y máquinas de fax (U. S. EPA, 1995).

➤ *Diseño y operación del equipo.*

La electrofotografía se utiliza en máquinas de fotocopiado, impresoras láser, y máquinas de fax. El método se basa en el principio electrostático, transfiriendo el toner desde una superficie fotoconductora cargada. El componente principal de cualquier proceso de foto-imagen es el tambor fotoconductor, que tiene típicamente una capa fotoconductora que puede ser de selenio, silicio amorfo, tintes orgánicos y pigmentos u óxido de zinc. Estos materiales tienen la característica única de sostener la carga electrostática y de perder la carga cuando están expuestos a la luz uv.

Los pasos para el proceso de la proyección de la imagen son los siguientes (figura 3.1): 1. Carga, 2. Exposición, 3. Conversión, 4. Transferencia, 5. Fijación y 6. Limpieza. Estos seis pasos son el proceso repetido para cada copia (figura 3.2).

Figura 3.1. Diagrama de la proyección de la imagen. Fuente: (Xerox Research Center, 1991).

1. Carga. El primer paso del proceso es cargar el tambor fotoconductor. En este paso una carga uniformemente cargada se reparte en todo el tambor. El

tambor cargado positiva o negativamente depende del material y del tipo de fotoconductor que se utilice. Para los procesos de impresiones láser y máquinas de fotocopiado, los alambres eléctricos de la corona se utilizan para agregar una carga primaria uniforme a través de la superficie del tambor fotoconductor. En respuesta a las preocupaciones por las emisiones de ozono, Canon, Inc., ha desarrollado un proceso alternativo de proceso de "secado", el sistema de foto-imagen de proceso de secado en el cual los alambres de la corona se substituyen por los rodillos de "carga". Diferente de los alambres de la corona que son separados del tambor por una distancia pequeña, los rodillos de carga se presionan directamente contra el tambor, requiriendo tensiones más bajas para generar la carga.

2. Exposición. Durante el paso de la exposición, la imagen de la original se refleja sobre la superficie del tambor. La imagen original (área oscura) sigue siendo positiva en la superficie del tambor, mientras que el área blanca pierde su carga en el tambor cuando está expuesta a la luz reflejada.

Figura 3.2. Transferencia de la imagen al papel. Fuente: (Xerox Research Center, 1991).

3. Conversión. Se revela la imagen cuando las partículas o los aerosoles negativamente cargados de toner se atraen a las áreas positivamente cargadas de la imagen en el tambor (figura 3.3). El revelado hace que la imagen electrostática latente en el tambor sea visible. El revelado puede consistir generalmente de un solo toner o toner - portador. En los dos, el sistema de los dos componentes (figura 3.3a), el portador y el toner opuesto se cargan. Un campo magnético se utiliza para alinear el portador (con el toner unido) en un

cilindro que se convierte para formar un “cepillo” que traiga el toner más cercano al tambor fotoconductor cargado. La imagen cargada en el tambor entonces atrae el toner. En el sistema de un componente (figura 3.3b), el toner se compone de una resina (color) y de material magnético. Una vez más, un cilindro magnético se utiliza para alinear y para recoger uniformemente las partículas de toner, que después se quedan cerca del tambor y se atraen a la imagen cargada. Una lámina se utiliza, en algunos casos, para asegurar la cobertura uniforme del toner en el tambor magnético.

Figura 3.3. Diagrama esquemático que muestra la transferencia del toner desde el tambor fotoconductor. Fuente: (Xerox Research Center, 1991).

4. **Transferencia.** Una vez que la imagen se ha revelado en el tambor debe ser transferida al papel. Para transferir la imagen al papel, un alambre de la corona aplica positivamente una carga a través del papel, que atrae electrostáticamente las partículas del toner, negativamente cargadas, del tambor y sobre la superficie del papel cargado (figura 3.3). El rodillo cargado se utiliza para aplicar la carga positiva al papel colocándola encima del tambor fotosensible dentro del cartucho del toner. El otro rodillo de carga (el rodillo de la transferencia) permanece dentro de la cubierta de la máquina de fotocopiado y se coloca debajo del tambor fotosensible. El papel viaja entre el rodillo de la transferencia y el tambor fotoconductor. El contacto entre los rodillos de carga y el tambor previene la formación de arcos eléctricos. Cerca de 75% del toner se transfieren al papel de copia. La eficacia exacta de la transferencia depende de la clase de papel usada (Canon, 1990). Una vez más la ventaja de cargar el sistema del rodillo es reducción en emisiones del ozono.

5. **Fijación.** Se refiere al proceso en el cual el toner que fue transferido al papel de copia es fijado permanentemente al papel. Hay esencialmente dos clases de métodos para llevar a cabo la fijación: calor y presión (figura 3.2). El proceso de calor, consiste en hacer pasar el papel entre los rodillos ya calentados y el toner se derrite y se presiona en las fibras de papel, así fijando el toner al papel. Lo anterior se realiza a través a través de dos tambores, uno de los cuales se calienta a una temperatura cerca de 160 a 200°C que calienta el otro tambor sobre contacto. En el método que fija a presión, los dos rodillos están en contacto muy firmes, el papel pasa entre los rodillos y el toner se presiona firmemente sobre el papel, así fijando la imagen.

6. **Limpieza.** Se refiere al proceso en el cual cualquier cantidad de toner que queda en la superficie del tambor fotoconductor sea evacuada de modo que la imagen siguiente de la copia sea clara y distinta. La limpieza es sobre todo un proceso físico en el cual una lámina, un cepillo y tela (fibras tejidas) se utilizan para limpiar a través de la superficie del tambor para quitar partículas de toner residuales. En algunas máquinas, una lámpara de la limpieza se puede utilizar para quitar la carga eléctrica del tambor antes del uso en la tela, la lámina, o el cepillo.

Todos los procesos de foto-imagen (las copadoras, las impresoras láser, las máquinas de fax) contienen el contorno básico de los seis pasos descritos anteriormente; sin embargo, las características pueden variar dependiendo del equipo. Hay generalmente dos tipos básicos de procesos de las máquinas fotocopiadoras: seco y húmedo. En el proceso seco se usan toners secos (cartuchos) para el uso de máquinas de fotocopiado. En el proceso húmedo se utiliza un inyector (tinta - jet o jet de la burbuja) que rocía la tinta hacia el papel y se revela imagen o se funde de una forma similar a otras máquinas.

La proyección de imagen de color se puede hacer usando ambos procesos húmedos y secos. La impresión/copia de color utiliza generalmente cuatro colores (negro, amarillo, cianico, y magenta) Consecuentemente, la copia a color y los tiempos de la impresión son perceptiblemente mayores que para las imágenes en blanco y negro. Las copadoras del color utilizan generalmente temperaturas más bajas del fusor.

Otras diferencias se presentan en el paso de la exposición. Por ejemplo, las fotocopiadoras utilizan una fuente de luz de alta intensidad para reflejar la imagen sobre la superficie de un tambor fotoconductor mientras que las impresoras láser y las máquinas de fax utilizan un láser para impartir la misma carga de encendido al tambor. Sin embargo, una vez que se haya cargado el tambor fotoconductor, el proceso es esencialmente igual para todas las máquinas.

➤ *Fotocopiadoras de proceso seco.*

Las fotocopiadoras de proceso seco abarcan la mayoría del mercado de fotocopiado. Pueden ser encontradas en una amplia gama de locales, pequeñas y grandes oficinas así como los centros comerciales e institucionales, las fotocopiadoras grandes pueden copiar más de 100 páginas por minuto. Temperaturas generalmente más altas del rodillo y tamaños de partícula más pequeñas del polvo de toner se utilizan en máquinas más rápidas y grandes para acelerar el proceso de fijación, aunque la característica de los polvos de toner puede ser diferente. La temperatura de los rodillos del fusor puede estar hasta en los 250°C en las máquinas más rápidas. En la tabla 3.1 se muestran las ventas recientes con el número de copias para tres tipos de máquinas de fotocopiado para el proceso seco.

Tabla 3.1. Venta de máquinas de fotocopiado. Fuente: (Computer and Business Equipment Manufacturers Assoc., 1994).

Tamaño.	Unidad de carga 1993 Número de fotocopias	Proyección anual. Tarifa de crecimiento. 1993 – 2004
Pequeña. 11 – 24 cpm	960 000	7%
Mediana. 25 – 39 cpm	380 000	6.5%
Grande. 40 + cpm	183 000	7%

3.2 Emisiones que se generan en las Máquinas de Fotocopiado.

Las máquinas de fotocopiado, en el proceso seco, emiten ozono, partículas, y compuestos orgánicos. Brooks y Davis (1991) identificaron los compuestos específicos siguientes emitidos en máquinas fotocopiadoras: amoníaco, benzaldehído, benceno, carbón negro, metacrilato butílico, ciclotrisiloxano, etil-benceno, nonanal, ozono, estireno, terpeno, tolueno, tricloroetileno, 1.1.1 tricloroetano, isopropanol, metilmetacrilato, xilenos, productos de la combustión del estearato de zinc.

3.2.1 Ozono.

El ozono (O₃) se genera de la interacción de la radiación ultravioleta con oxígeno durante descargas electrostáticas y de reacciones con bióxido de nitrógeno (NO₂) e hidrocarburos. Los hidrocarburos se pueden producir por las máquinas de oficina, se pueden encontrar en el aire del interior como resultado de otras fuentes interiores, o pueden resultar de la infiltración del aire exterior.

El bióxido del nitrógeno (NO₂) se puede producir por otras fuentes del interior y como resultado de la infiltración del aire del exterior. El ozono no persiste en el ambiente del

interior porque reacciona y choca rápidamente con los materiales en el ambiente circundante.

Los alambres de la corona agregan una carga primaria uniforme a través de la superficie del tambor fotosensible, y también atraen el toner del tambor a la superficie del papel lo cual contribuye a las emisiones del ozono. Los altos voltajes que se aplican a los alambres de la corona para lograr la carga necesaria, y la formación de arcos eléctricos dan lugar a la producción del ozono.

Las medidas reales de las emisiones del ozono en las fotocopiadoras usando típicamente instrumentos de lectura directa para muestrear el aire exterior, son variables. Según algunos estudios realizados por Etkin (Etkin, 1992) las fotocopiadoras de proceso seco, aun cuando por el mantenimiento, pueden emitir aproximadamente $4\mu\text{g}$ por copia de ozono. Greenfield (1987) encontró, que con el uso de la máquina de fotocopiado sin mantenimiento se alcanza una emisión de $131\mu\text{g}$ por copia, con un promedio $40\mu\text{g}$ por copia. Por comparación, (Allen et. al., 1978) probaron dos máquinas de fotocopiado y encontraron que las emisiones se extendieron a partir de $40\mu\text{g}$ por copia y que las emisiones del ozono fueron encontradas de 48 a $158\mu\text{g}/\text{copia}$, los factores dependen de la cantidad de copias, intensidad de luz, y el estado de mantenimiento del equipo.

Selway et. al., (1980) estudiaron diez máquinas de fotocopiado y las emisiones mínimas encontradas de ozono fueron de 4 a $54\mu\text{g}/\text{copia}$. Tales medidas cuando se realizaron bajo condiciones anormales (ventilación cero) el intervalo de concentración de ozono fue de 1 a $300\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hannsen y Andersen (1986) examinaron 69 máquinas de fotocopiado, encontrando emisiones de ozono a partir 0 a $1350\mu\text{g}/\text{min}$, con un promedio máximo de $259\mu\text{g}/\text{min}$ en la zona de respiración de los operadores.

Eggert et. al., (1990) probaron 37 impresoras láser diferentes en un cuarto climatizado y evaluaron las emisiones de ozono a la atmósfera. La emisión promedio de ozono fue de $440\mu\text{g}/\text{min}$., estimándose que esto daría lugar a concentraciones hasta de $720\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.38 ppm) que excede los niveles recomendados para protección de la salud.

Los filtros de ozono son de uso general en las fotocopiadoras y las impresoras láser. Estos filtros no quitan el ozono del aire, sino catalíticamente lo convierten en oxígeno. Estos filtros se deben substituir (en máquinas más pequeñas) o limpiar periódicamente (en modelos más grandes) para asegurar el retiro apropiado del ozono porque los filtros se pueden agotar con el tiempo, reduciendo la eficiencia de reducción de ozono.

Hannsen y Andersen (1986) evaluaron el retiro eficiente de tres filtros diferentes. El carbón activado se extiende con un espesor de 9 mm. a 14 mm. demostrará una eficiencia de reducción de ozono del 89 al 98%. La espuma de poliéster y de poliuretano impregnada con carbón activado, extendiéndose 8 a 12 mm., demostró eficiencias de reducción del 72%. La eficiencia de reducción fue determinada para ser relacionada con el espesor del filtro, la velocidad del aire a través del filtro, la concentración inicial de ozono, y el grado de contaminación en el filtro. Así mismo, Eggert (1990) obtuvo resultados similares demostrados en el efecto de los filtros de ozono para las impresoras láser. Se demostró que la emisión de ozono para 37 impresoras fue reducida a un promedio $100\mu\text{g}/\text{min}$ con el empleo de filtros, y a $440\mu\text{g}/\text{min}$ sin filtros.

Investigadores han encontrado que la cantidad de ozono producida por copia o por tiempo del equipo de fotocopiado es reducida enormemente después del

mantenimiento (mantenimiento general) y las emisiones aumentan en un cierto plazo después del mantenimiento. Selway (1980) demostró claramente la eficiencia del filtro en la reducción de la producción del ozono de las fotocopiadoras. La cantidad de ozono producida por copia fue reducida después del mantenimiento general. Las máquinas tuvieron mantenimiento después de las 64,000 copias hechas. En el mantenimiento siguiente, la cantidad de ozono volvió gradualmente a los niveles que prevalecían después de 15 días o de 3,000 copias. Por lo tanto, es también posible que las emisiones puedan aumentar con el tiempo de uso del equipo. Ver tabla 3.2.

Tabla 3.2. Concentraciones de ozono antes y después del mantenimiento de la fotocopiadora. Fuente: (Selway y cols., 1980).

Fotocopiadora.	Emisiones ($\mu\text{g}/\text{copia}$).	
	Antes del servicio.	Después del servicio.
IBM 6800	20	4
Xerox 4000	131	4
Xerox 4000	63	< 3
Xerox 3400	49	< 1
Kodak 100	16	< 1

Etkin (1992) divulgó las altas deficiencias de este equipo y/o deficiencias en sistemas de la ventilación que pueden conducir a los niveles elevados de ozono lo cual causa efectos adversos en la salud.

3.2.2 Partículas.

Los toners usados en las máquinas de fotocopiado del proceso seco contienen una amplia variedad de productos químicos además de partículas de carbón blanco o de tintes y de pigmentos negros finos para el toner del color.

Hannsen y Andersen (1986) midieron el contenido de partículas en el aire del extractor de cinco fotocopiadoras. Las concentraciones de partículas observadas estuvieron entre 90 y $460\mu\text{g}/\text{m}^3$ que es comparable a las concentraciones (50 a $500\mu\text{g}/\text{m}^3$) que estaban en oficinas en Dinamarca. Eggert et. al., (1990) midieron las emisiones de las partículas a partir de 20 impresoras diferentes obteniendo $61\mu\text{g}/\text{min}$.

El potencial de las emisiones de partículas en el ambiente interior aumenta en un cierto plazo entre los ciclos de mantenimiento. El tamaño de partículas influye en el grado de cuanto pueden ser inhaladas y los tipos de efectos que pueden causar. No hay datos específicos sobre el tamaño de partículas emitidas de las máquinas de proceso seco.

3.2.3 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

Los toners típicamente tienen los componentes orgánicos que probablemente son emitidos al aire del interior durante la operación de fotocopiado o impresión del papel.

Algunos investigadores (Wolkoff et. al., 1993) han conducido uno de los estudios más completos sobre emisiones de los productos terminados de equipo de oficina. El estudio contempló el análisis analítico para cuantificar las emisiones del papel impreso o copiado de oficina.

Las emisiones que se evaluaron correspondieron a toners y a papeles (periódicos) impresos de seis máquinas de fotocopiado diferentes (A – F), tres impresoras de láser (G – I) y dos impresoras de matriz (J y K). Cada letra corresponde a la marca del equipo de oficina. Las emisiones primero fueron evaluadas para el toner (polvo) con el propósito de identificar a los componentes individuales de COVs emitidos.

El toner (polvo) fue analizado cualitativamente en una columna de vidrio empacada con toner de polvo, con trampa de paso para absorber los volátiles y, analizando la desorción de luz usando el método de cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC/MS).

Estos resultados indicaron que los COVs presentes en el polvo del toner incluyen algunos residuos de solventes (benceno, tolueno, xileno), monómeros (estireno y ester de acrilato), impurezas de monómeros (etil, propil e isopropil benceno; isomero difenil butano), grupo de agentes (texanol), productos de oxidación de monómeros o polímeros (benzaldehído) y, productos de descomposición. En la tabla 3.3 se enlistan las emisiones de COVs que se generan en el proceso de impresión o fotocopiado del papel.

Tabla 3.3. Emisiones de COVs: papel fotocopiado. Fuente: (Wolkoff et. al., 1993).

Emisión	Fotocopiadora						Impresora Laser			Impresoras Matriz	
	A ^a	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Benceno	X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	* ₊	* ₊	X	X ⁺	X	X	X
1-butanol	X ⁺	X ⁺		X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	X ⁺		X
Tolueno	X ⁺	* ₊	X ⁺	* ₊	X ⁺		* ₊	X ⁺	X ⁺	*	X
Piridina						X ⁺					
1-metil-2-pentanona		X ⁺		X ⁺							
Hexanal	*	X	X	X	X	X	X	X	X	*	*
Isomero C ₄ -ciclohexano			+	X ⁺			+		+		
1-butil-eter		X ⁺		+	X	+	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	X
Etil benceno	* ₊	* ₊	* ₊	X	*						
m- y p-xileno	* ₊	X ⁺	* ₊	* ₊	* ₊	X	*				
o-xileno	X ⁺	X ⁺	* ₊	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	* ₊	X	X
Estireno	* ₊	* ₊	* ₊	*	*						
1-butil acrilato		X ⁺			* ₊		X ⁺				
2-fenilpropanona	X	X ⁺	X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	X
3-heptanol		X ⁺									
1-fenilpropanona	X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	X					
Isomero etil tolueno	X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	X ⁺	X ⁺	X ⁺	X	
3-etioxil-3-etil-4,4-dimetil pentano		* ₊								*	
1-butil metacrilato	X ⁺						+				
Benzaldehído	+			X ⁺	X ⁺	X ⁺		X ⁺	X ⁺	X	X
Isomero dietil benceno			X	X			X ⁺	* ₊	X		X
2-etil-1-hexanol				X ⁺	+		+	X ⁺	X ⁺		X
2-etilhexilacetato			+	+				X ⁺	+		
2,2-azo-bis-isobutironitrilo	+	X ⁺		X ⁺					X ⁺		
2-etilhexil acrilato			X ⁺	X ⁺				X ⁺	X ⁺	X	X

^a Hexano, 1,1-dicloro-1-nitroetano, pentanal y tricloroetano observados como emisiones en el papel.

x: Emisiones detectadas en el proceso del papel.

*: Cuatro picos extensos.

+ : Detectado en el toner.

➤ *Fotocopiadoras de proceso húmedo.*

El proceso húmedo fue muy popular en 1970 hasta inicios de 1980. Las ventajas principales de estas copiadoras consistían en que su funcionamiento era muy simple y requerían menos mantenimiento que las máquinas de proceso seco. Sin embargo, este tipo de fotocopiadoras (proceso húmedo) producía una fotocopia de baja calidad.

Las máquinas de proceso seco usan el calor y la presión para fijar la imagen, forzando el polvo del toner de polvo en las fibras de papel para lograr una imagen uniforme. Por el contrario, los tipos anteriores a estas máquinas utilizaron un proceso de fijación del calor para eliminar los solventes parafínicos usados en los toners. Consecuentemente, el toner se encontraba en la superficie del papel; si el papel tuviera una superficie áspera o un contenido abundante de pelusa la imagen no sería uniforme. Los avances recientes para estas máquinas, tales como la reformulación de toner líquido y la introducción de calor y presión que fijaba la imagen, han mejorado la calidad de la copia (U. S. EPA, 1995).

4 METODOLOGÍA.

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, 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 como 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 deben cumplir con los principios fundamentales para 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, estos generalmente no tienen la sensibilidad requerida para la evaluación de la calidad del aire en otro tipo de ambientes (Lewis 1990, Lewis y Wallace 2005).

Los contaminantes de mayor interés para las mediciones de calidad del aire en interiores son principalmente: compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos semivolátiles (como pesticidas e hidrocarburos aromáticos polinucleares), 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 1990, Hawtorne et. al., 2005).

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 2005, Threlkeld 1993). 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.

4.1 Estrategia de medición.

Los criterios básicos para lograr una correcta evaluación de ozono en una atmósfera interior son importantes ya que si no se toman en cuenta no se podrían obtener resultados satisfactorios para dicha evaluación, es muy importante seleccionar el sitio de muestreo así como los períodos de medición. Los resultados del monitoreo pueden tener poca validez si no se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Lo grave del problema varía dependiendo de la hora del día o del día de semana.
- La calidad del aire exterior varía de lugar a lugar y puede afectar la calidad del aire interior.
- Sistema de ventilación y/o sistemas de extracción de aire que es utilizado.
- El equipo de monitoreo no funciona adecuadamente.

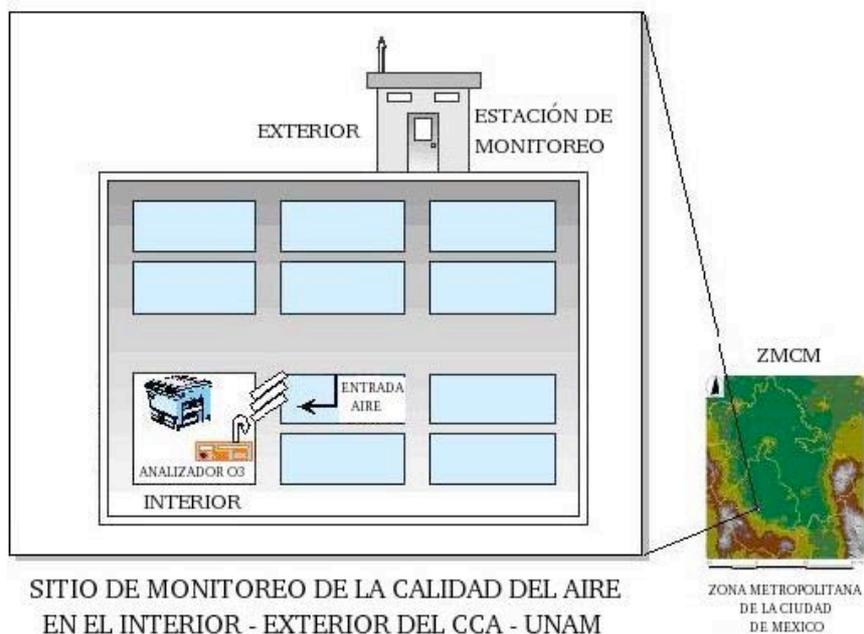
Para una evaluación efectiva es necesario establecer una base de comparación para los datos del contaminante tomando mediciones realizadas en sitios de control y compararlas con las mediciones realizadas en sitios de muestreo o de prueba localizados en el interior del edificio (AESPW 2004, Cox y cols., Masahiro et. al., 1990).

La base de datos de la calidad del aire que se utilizó para realizar el presente trabajo de investigación tuvo una duración de 19 meses, iniciando en el mes de Agosto de 1996 hasta Febrero de 1998, la máquina de fotocopiado estuvo funcionando en un horario de 09:00 – 15:00 horas, de lunes a viernes. Cabe mencionar que durante el estudio se utilizaron dos analizadores de ozono simultáneamente, uno en el interior y otro en el exterior, funcionando de una manera continua durante las 24 hrs. del día y todos los días analizados.

El lugar de monitoreo donde se llevó a cabo las medición de las concentraciones de ozono fue en el Centro de Ciencias de la Atmósfera en la Sección de Contaminación Ambiental de la UNAM (CCA-SCA-UNAM) ubicada a un costado del metro CU, en la figura 4.1 se presenta el lugar de monitoreo. Un analizador de ozono se colocó en el área de fotocopiado del centro y, el segundo analizador se colocó en la azotea del edificio en la estación de monitoreo de calidad del aire de la Sección de Contaminación Ambiental (SCA).

El equipo que se utilizó para la determinación de ozono en la estación de monitoreo de la calidad del aire de la Sección de Contaminación Ambiental fue un analizador por fotometría ultravioleta que opera de acuerdo a las recomendaciones, método de equivalencia y criterios establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U. S. EPA, 1990) y recientemente de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL-1993, misma que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

Figura 4.1. Sitio de monitoreo de la calidad del aire del CCA- UNAM.



El primer analizador de ozono empleado fue marca Beckman Modelo 906 (por quimicoluminiscencia) que midió la concentración de ozono en Ciudad Universitaria desde el año de 1984 hasta el año de 1995, después se cambió por un analizador Termo Electrón Mod. 43 que opera con el principio de fotometría ultravioleta, el mismo que opera hasta la fecha en forma continua.

La información generada fue registrada en un graficador analógico de tiempo real. A partir de esta información se determinan los promedios aritméticos horarios de ozono. Dicha información es utilizada posteriormente para determinar las concentraciones de ozono horarias y las excedencias a la Norma de Calidad del Aire, por día, mes y año, con el objeto de determinar el análisis de tendencia.

4.2 Muestreo y Análisis.

Existen métodos para determinar las concentraciones de ozono en el aire ambiente los cuales tienen una validez oficial así como la calibración de los equipos. Los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente son los referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL-1993 y NOM-020-SSA-1993:

- **El Método de referencia** para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de luminiscencia química.
- **El Método equivalente** para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el método de fotometría ultravioleta.

Descripción del Método de Referencia.

El método de referencia se basa en la capacidad que tiene el ozono de emitir luz al reaccionar con etileno (ver figura 4.2.).

Figura 4.2. Método de referencia para determinar las concentraciones de ozono en el aire ambiente, es el de luminiscencia química.

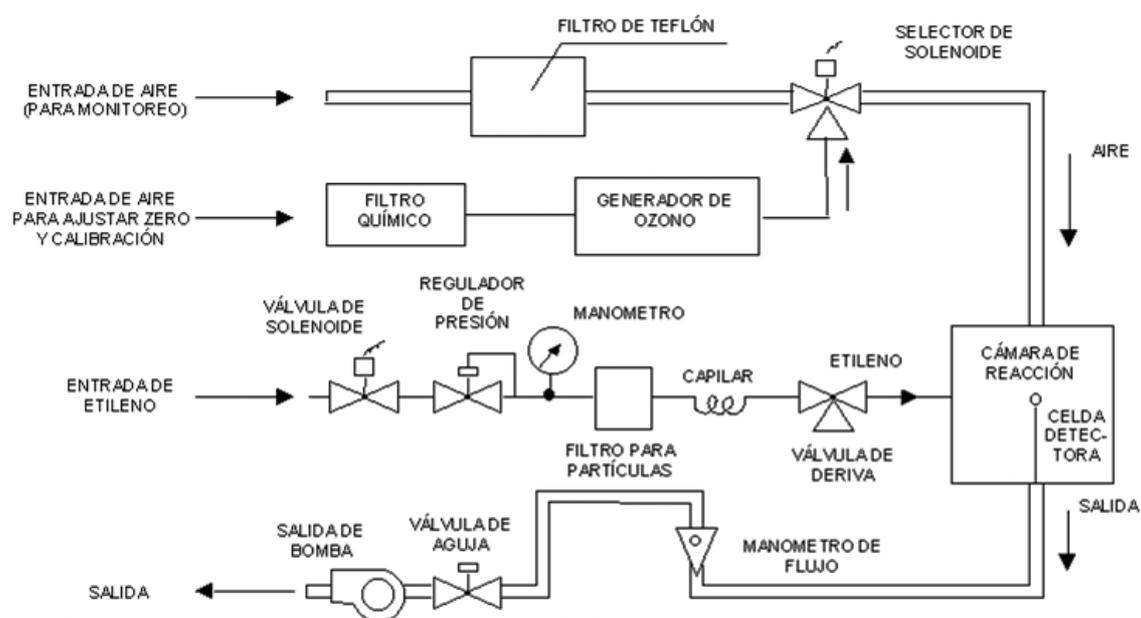
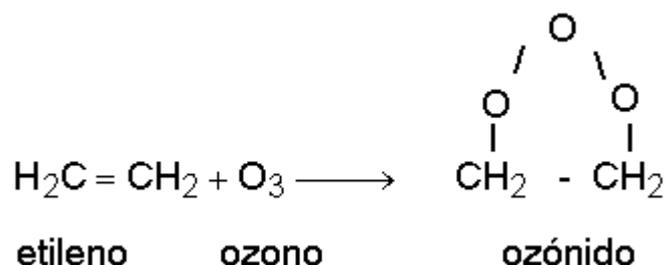


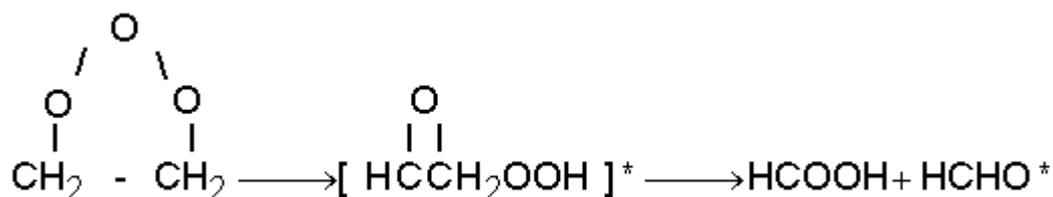
DIAGRAMA DE UN MONITOR PARA OZONO

En este método se hace entrar simultáneamente aire y etileno a la cámara de mezclado del analizador. Ahí, el ozono presente en el aire reacciona con el etileno emitiendo una luz, que se detecta a través de un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente resultante se amplifica y puede leerse directamente o mostrarse en un registrador, de acuerdo con la cinética de la reacción que se describe enseguida.

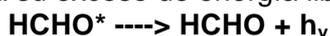
El ozono se combina con el etileno para formar una molécula de ozónido a través de la siguiente ecuación:



Posteriormente el ozónido se disocia en un ácido orgánico (ácido fórmico) y un formaldehído activado:



El formaldehído activado disipa su exceso de energía liberando fotones.



La celda de reacción de la cámara de mezclado está aislada de la luz, de tal manera que se asegure que sólo la luz resultante de la reacción etileno-ozono sea registrada por el tubo fotomultiplicador. El diseño de la celda es tal, que la reacción se lleva a cabo muy cerca de la ventana, por lo que se puede decir que la totalidad de la luz resultante incide en el tubo fotomultiplicador. La ventana es una pieza de plexiglas transparente que sella un extremo de la celda de reacción, permitiendo así que la luz sea transmitida al detector.

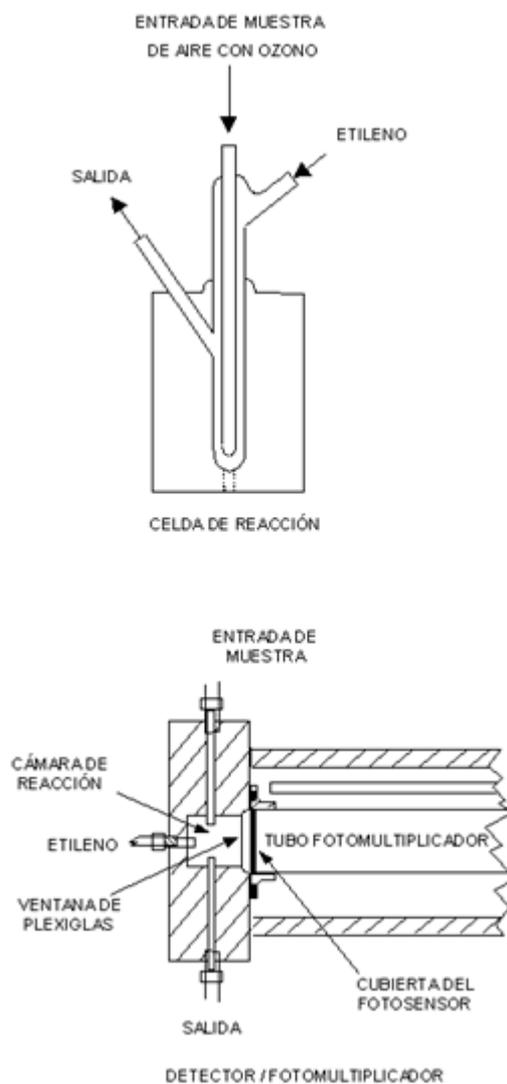
La energía luminosa emitida por la reacción ozono-etileno es convertida a una señal eléctrica por el tubo fotomultiplicador, amplificada posteriormente y utilizada para exteriorizar la lectura de la concentración.

Para la aplicación del método de referencia se requiere de un analizador para ozono que maneje la técnica de luminiscencia química. Los principales componentes del analizador son los siguientes: controladores de flujo de etileno y de la muestra y, dispositivos que regulan la velocidad de los flúidos a través del sistema neumático del analizador.

Celda de reacción.

Recipiente sellado en el cual se mezclan dos o más compuestos para provocar una reacción (figura 4.3)

Figura 4.3. Celda de reacción.



Sistema electrónico de detección y procesamiento de la señal.

Serie de componentes electrónicos que reciben, amplifican y procesan la señal resultante de la reacción, para convertirla en señal analógica que permita registrar mediante dispositivos especiales las lecturas del contaminante.

Reactivos.

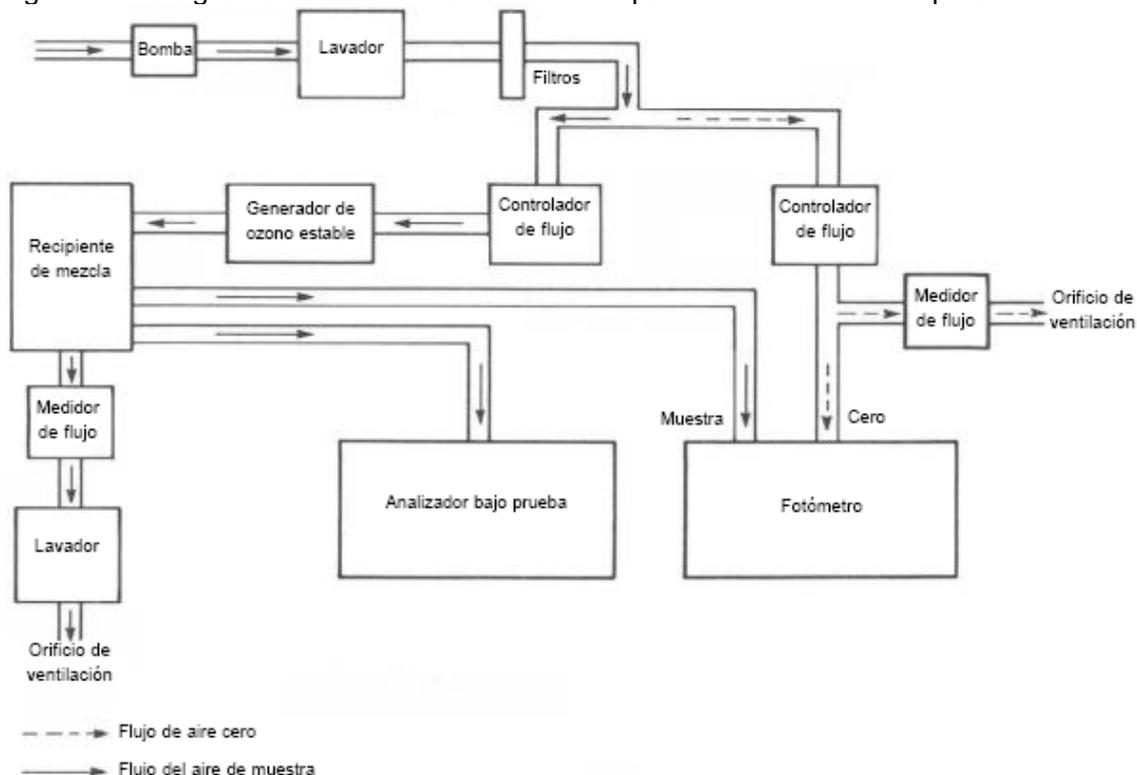
Etileno a 99.99% de pureza.

El método que se empleó para las mediciones de concentraciones de ozono en el aire interior fue el Método de Equivalencia utilizando un analizador de ozono Termo Electrón Mod. 43.

Descripción del Método de Equivalencia.

El analizador de ozono emplea el método de fotometría UV que se fundamenta en la absorción de luz UV de longitud de onda de 254 nm debida a una resonancia electrónica interna en la molécula de O_3 . Los analizadores utilizan una lámpara de mercurio que emite casi la totalidad de la luz en una longitud de onda de 254 nm. Esta luz ilumina una celda o tubo de vidrio hueco que se llena alternativamente con la muestra de aire ambiente y con la muestra a la cual previamente se ha removido el ozono por medio de un catalizador. La concentración se calcula de la relación de intensidades de luz que pasa a través del gas depurado y de luz que pasa a través de la muestra, empleando la relación de Lambert y Beer. El cálculo de la concentración se corrige para la densidad de la muestra empleando los valores de temperatura y presión medidos simultáneamente por el instrumento. El principio de operación del instrumento cuenta con la certificación como Método Equivalente para la medición de ozono por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (U. S. EPA) cuando se opera en cualquier intervalo entre 0-100 ppb y 0-1000 ppb (EQOA-0092-087). El principio de operación cumple con los requerimientos para métodos equivalentes descrito en la NOM-036-ECOL-1993. Este instrumento se puede emplear en la medición de ozono en aire ambiente de interiores y exteriores, en la figura 4.4 se representa el método de equivalencia:

Figura 4.4. Diagrama del sistema de calibración para ozono. Método Equivalente.



Para calibrar un analizador de O_3 , se instala un generador de O_3 para producir una concentración adecuada, el analizador y el fotómetro se instalan en paralelo para medir el gas de calibración. Se comparan las señales de salida de ambos instrumentos. La operación se repite para las diferentes concentraciones de O_3 . El fotómetro usado se debe comparar con otros analizadores, utilizando el mismo

generador de ozono. El método de fotometría ultravioleta es particularmente útil para el trabajo de campo, ya que el equipo es portátil (U. S. EPA 600/4a 77 027a, 1990)

CALIBRACION DEL EQUIPO DE MEDICION.

El método para la calibración del analizador de ozono en el aire ambiente, aplicable tanto al método de referencia como al equivalente es el de fotometría ultravioleta y se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono.

La concentración se determina cuando el fenómeno de absorción se acopla con los principios fotométricos de la Ley de Lambert-Beer, que establece que si un haz de luz monocromática pasa a través de un medio, la intensidad con que abandone dicho medio depende exponencialmente de tres factores: el coeficiente de absorción de las moléculas en el medio, su concentración y la distancia que la luz tenga que viajar.

Esta determinación requiere del conocimiento del coeficiente de absorción (α) del ozono a 254 nm; la longitud de la trayectoria óptica (l) a través de la muestra y la transmitancia de la muestra a una longitud de onda de 254 nm.

Si todos estos factores son conocidos, la única variable que necesita ser determinada es la de la concentración, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = - \frac{10^6}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0}$$

Donde:

C = Concentración de ozono en ppm.

α = Coeficiente de absorción de ozono a 254 nm = $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 273 K (0°C) y a 101.325 kPa (760 torr).

l = Longitud de la trayectoria óptica en cm.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

I_0 = Intensidad de la luz a través de aire cero.

El fotómetro mide la transmitancia de la muestra y electrónicamente calcula la concentración de ozono, por medio de un microprocesador.

Para producir diversas concentraciones dentro del rango requerido, en la práctica se usa un generador estable de ozono.

Las concentraciones calculadas de ozono deben ser corregidas por las pérdidas de este gas que pueden ocurrir en el fotómetro, así como por la temperatura y la presión de la muestra.

4.3 Análisis Estadístico.

Con el propósito de interpretar la tendencia que siguen los datos de las concentraciones de ozono tanto en el exterior como en el interior del área de fotocopiado del CCA-SCA-UNAM, se hizo necesario aplicar métodos estadísticos que describen el comportamiento de los fenómenos aleatorios, la Estadística, el aspecto más importante es la obtención de conclusiones basadas en los datos experimentales.

Los resultados obtenidos, que en este caso son las concentraciones de ozono que se presentan en el área de fotocopiado del CCA-UNAM y en el sitio exterior localizado en la azotea del Centro, serán analizados estadísticamente con el propósito de identificar los niveles de ozono que se alcanzan en la atmósfera interior así como en el exterior, identificar si existen algunas diferencias significativas para el aire del interior y del exterior (interior/exterior) mediante pruebas de hipótesis y poder comparar los días laborables y no laborables, así como en los distintos meses que duró el estudio.

Para ello se utilizó el programa SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*), el cual, permite analizar datos de forma multivariada.

Se inició el análisis estadístico haciendo una prueba de bondad de ajuste, con la prueba de Kolmogorov – Smirnov para una muestra, esto para identificar si la distribución de datos obedece a una distribución normal y si no es el caso, entonces se tendrá que recurrir a pruebas no paramétricas y seleccionar la que mejor se acomode a los datos obtenidos.

Por otro lado, se conoce que el comportamiento de ozono no sigue una tendencia de normalidad, al contrario, se tienen que emplear pruebas no paramétricas para analizar su comportamiento tanto en el interior como en el exterior.

Cabe mencionar, que se realizó un análisis estadístico para cada ambiente, es decir, que primero se analizó las concentraciones de ozono obtenido en el interior y posteriormente en el exterior.

5 RESULTADOS OBTENIDOS.

5.1 Diseño del experimento.

El experimento fue diseñado de tal manera para lograr mediciones representativas de la calidad del aire presente tanto en el interior como el exterior de un área de fotocopiado. El período analizado fue de 589 días que correspondieron a 16,384 horas de concentraciones de ozono tanto en el interior como el exterior.

La medición simultánea de los niveles de ozono tanto en el interior como en el exterior permite considerar a las emisiones de las fotocopiadoras como un factor determinante y con gran influencia en la calidad del aire interior.

Durante el monitoreo de ozono tanto en el interior como en el exterior del área de fotocopiado del CCA-UNAM que duró aproximadamente un período de 19 meses, Agosto de 1996 – Febrero de 1998, trabajando simultáneamente dos analizadores de ozono todos los días y las 24 horas del día se elaboró una base de datos hora por hora y posteriormente para cada mes de muestreo.

5.2 Número de muestras obtenidas.

El monitoreo se realizó durante 589 días, por lo cual, el número total de muestras de concentraciones horarias de ozono fue de 16,384 muestras.

Se conoce suficiencia de datos para un estudio estadístico representativo ya que se monitoreo un total de 16,384 horas. Por lo anterior, en la evaluación de resultados se podrá analizar sin ningún problema el comportamiento de ozono tanto en el interior como en el exterior del área de fotocopiado de la SCA-CCA-UNAM.

Posteriormente se cálculo el promedio aritmético para los días laborables y no laborables, cabe señalar que los días no laborables corresponden a sábados y domingos.

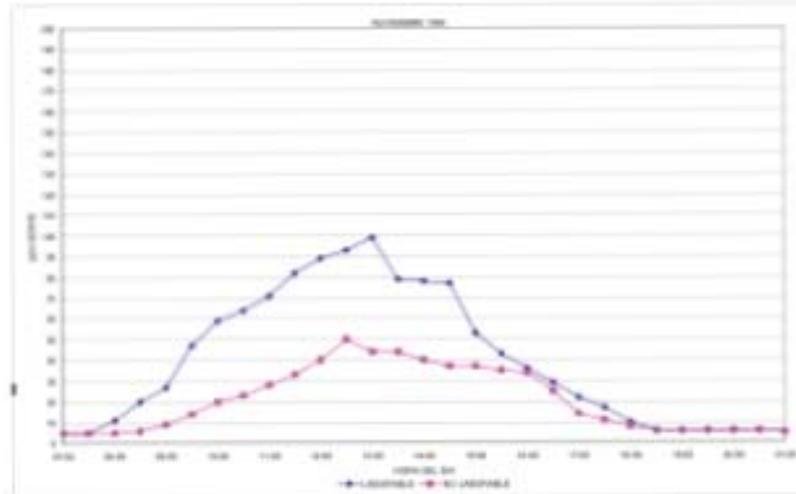
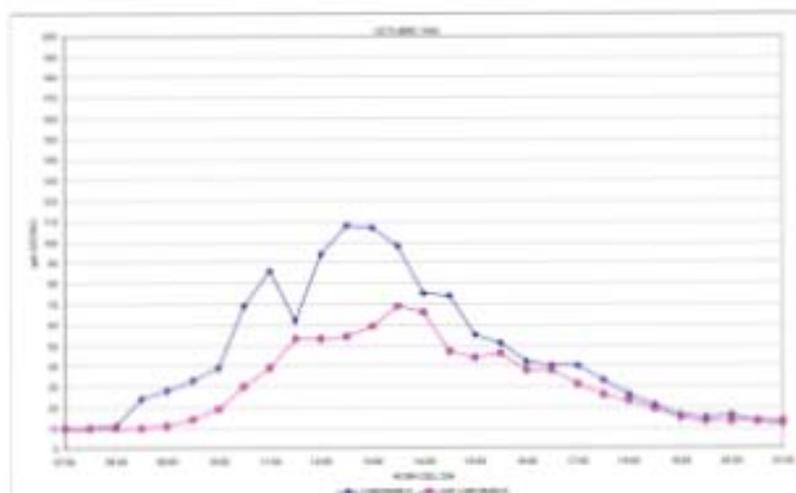
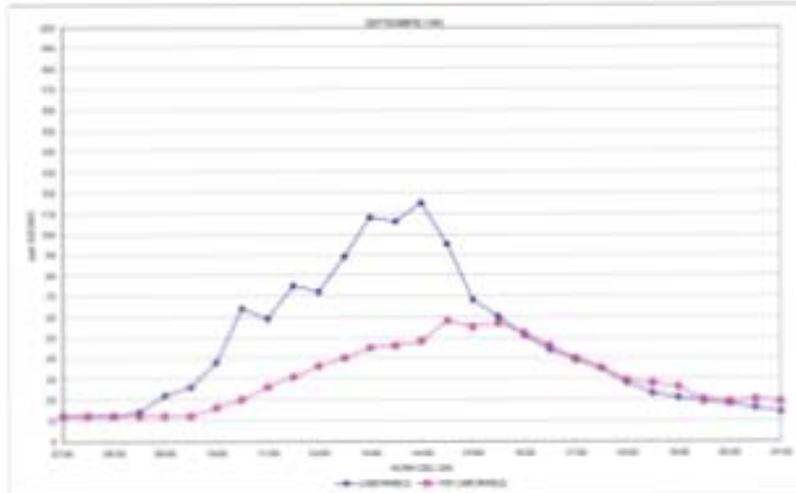
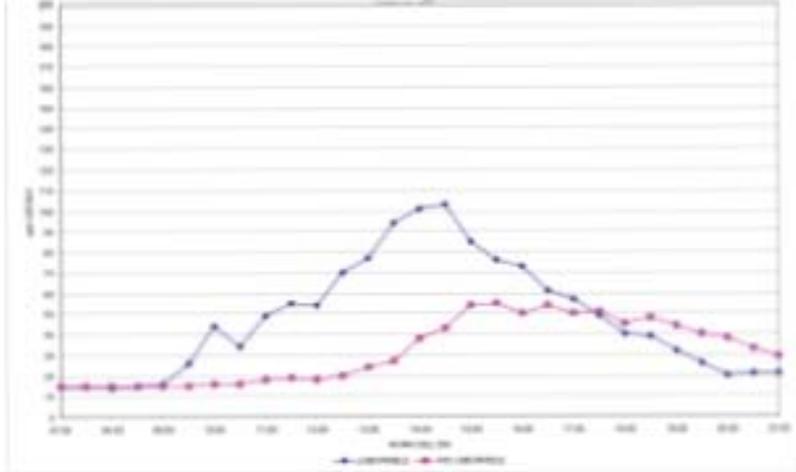
Una vez obtenido el promedio aritmético de las concentraciones de ozono para los días laborables y no laborables, se elaboraron las gráficas correspondientes para cada mes estudiado. El promedio aritmético consistió en la suma de las concentraciones horarias contemplando los días laborables y no laborables, dividiendo el resultado de la sumatoria entre el total de muestras horarias. Es decir:

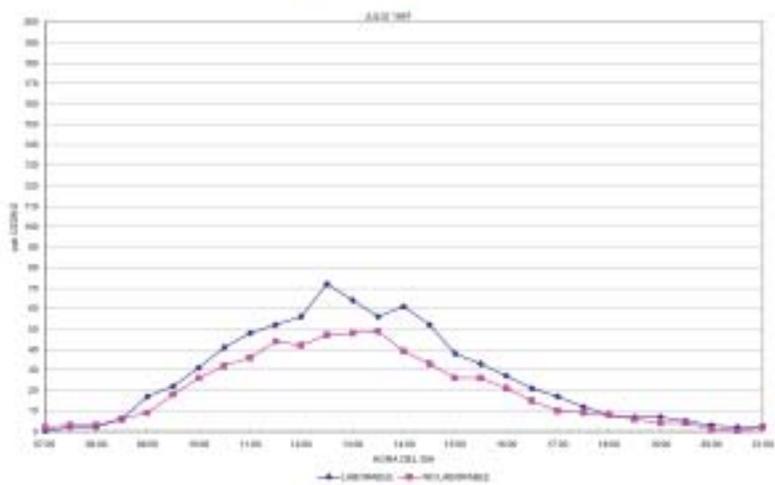
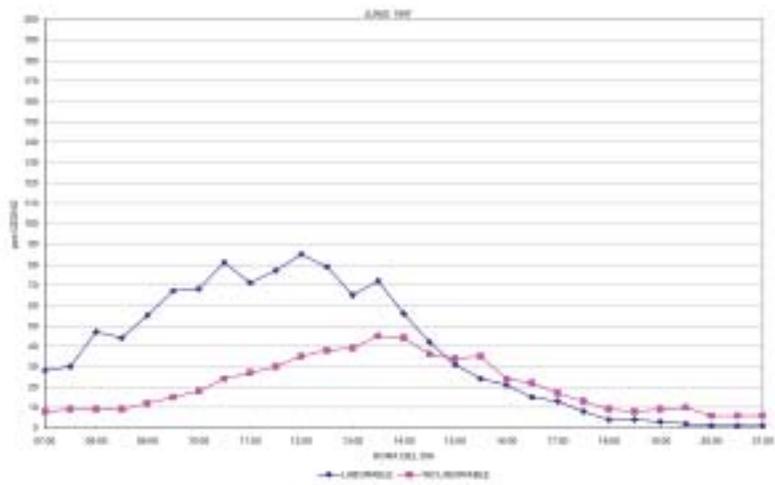
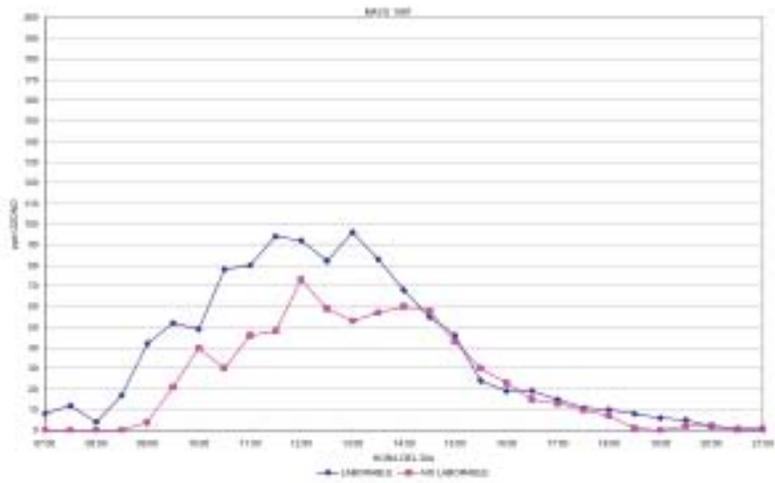
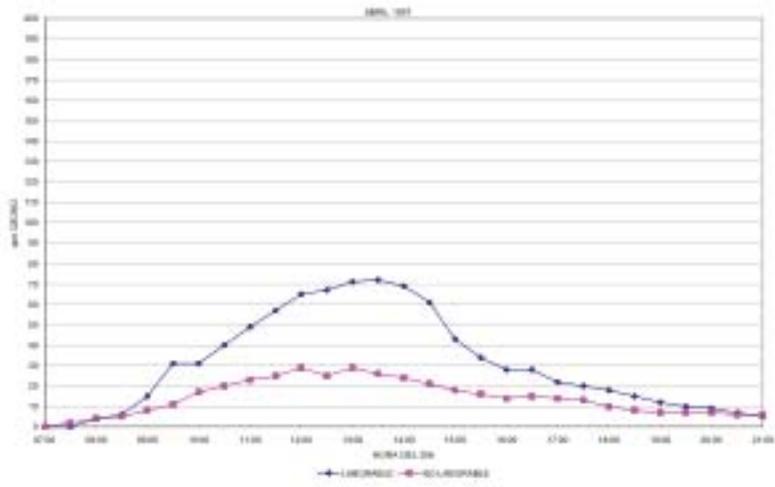
$$C_{\text{prom}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{concentraciones horarias}}{\text{total de muestras horarias}}$$

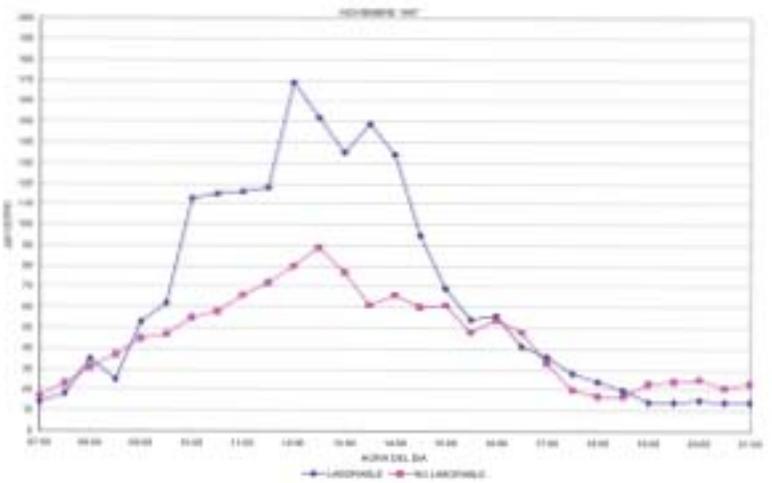
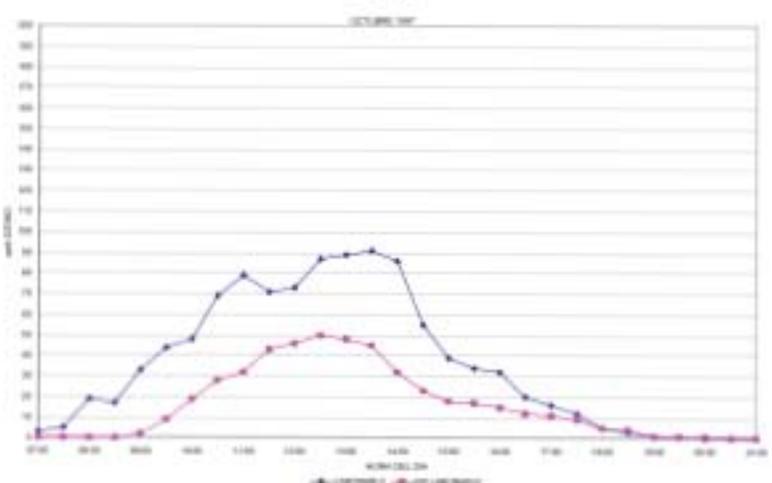
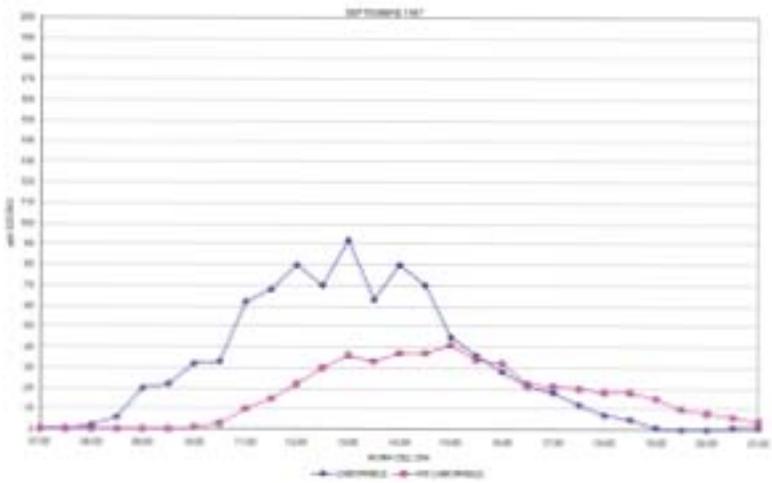
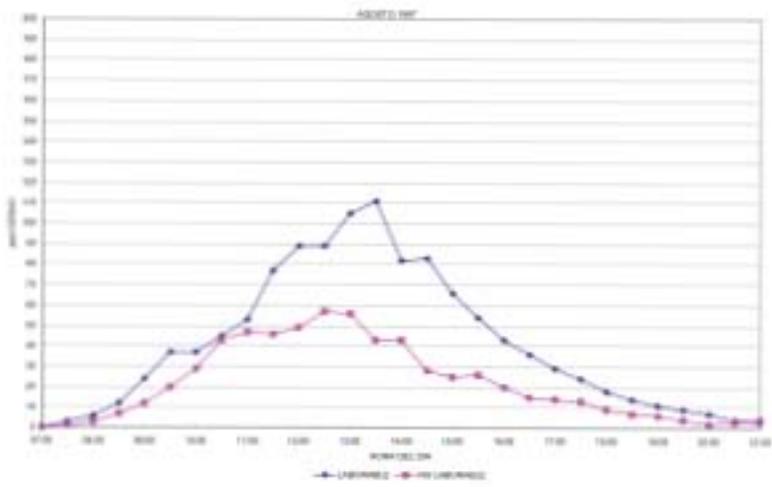
Lo anterior se realizó tanto para días laborables como no laborables.

Los gráficos correspondientes para cada base de datos se enlistan en las figuras 5.1 y 5.2.

Figura 5.1. Concentraciones promedio horarias de ozono durante los distintos meses estudiados en el interior (área de fotocopiado), tanto para días laborables como no laborables.







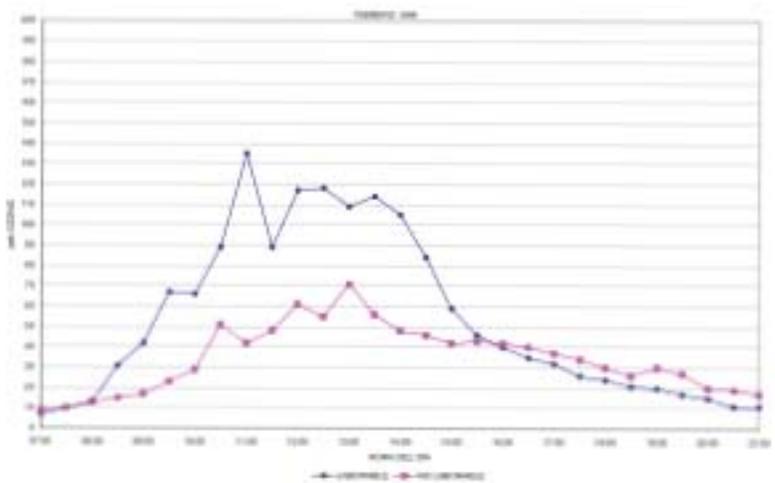
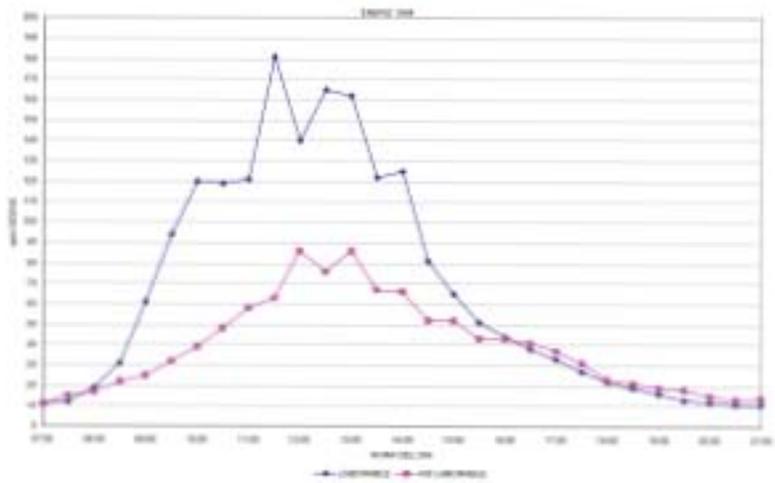
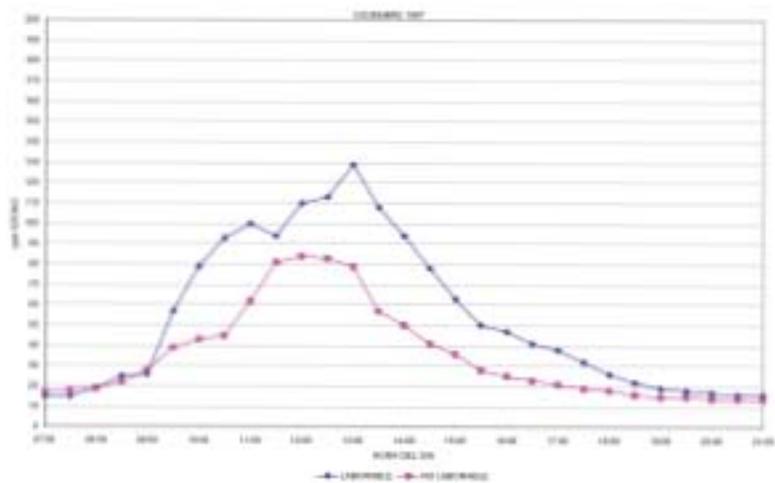
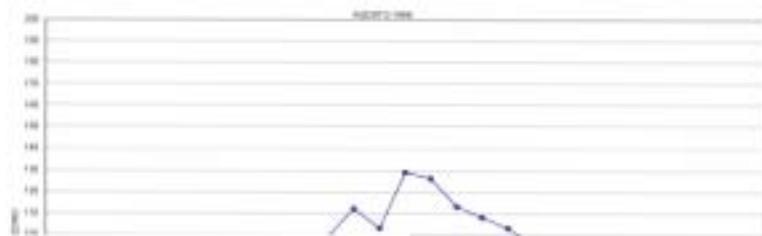
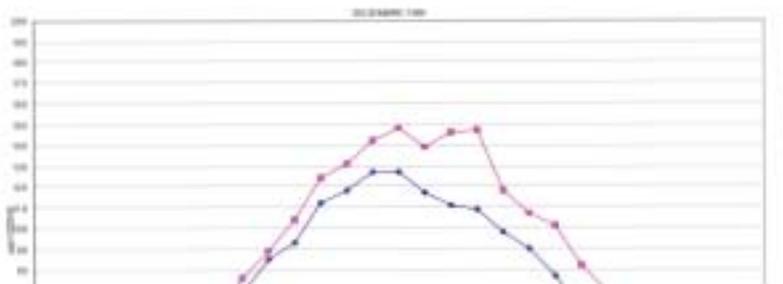
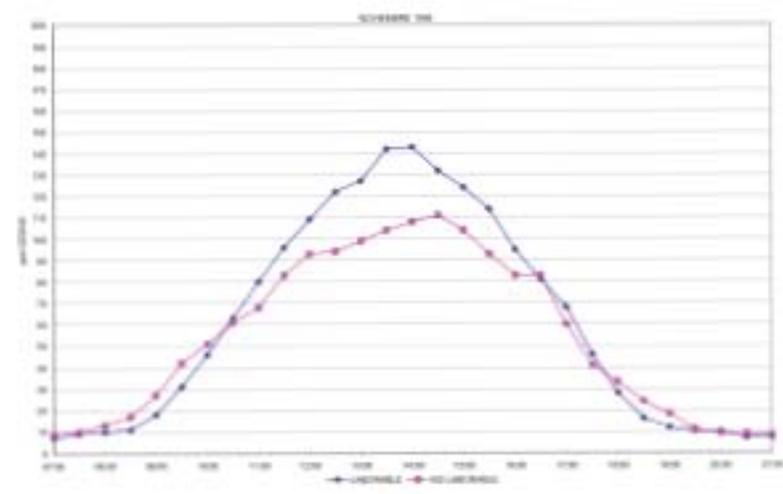
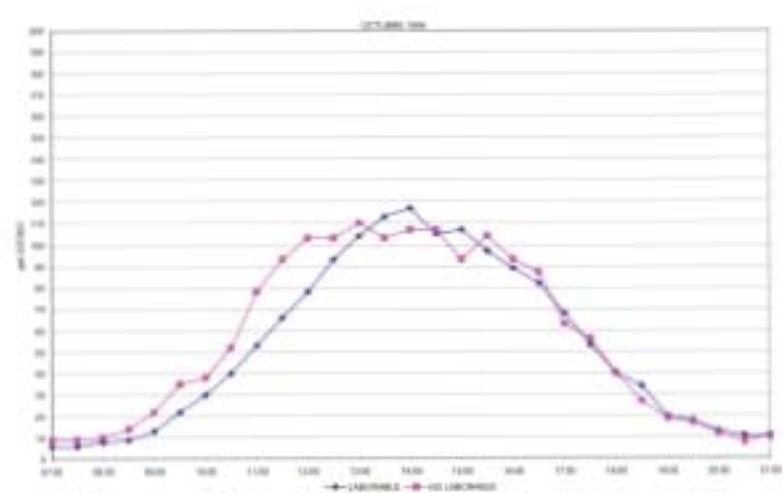
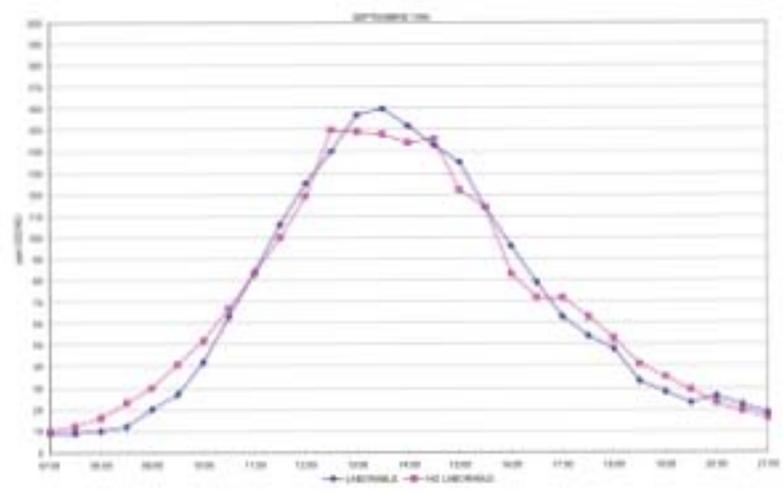
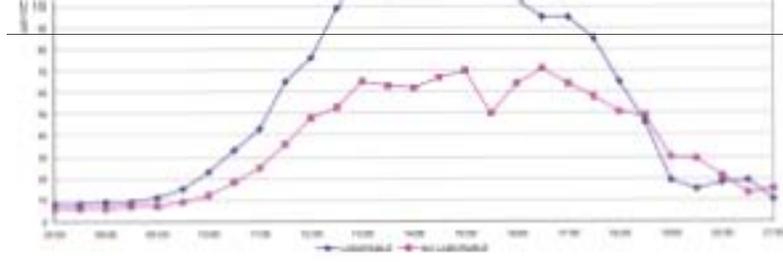
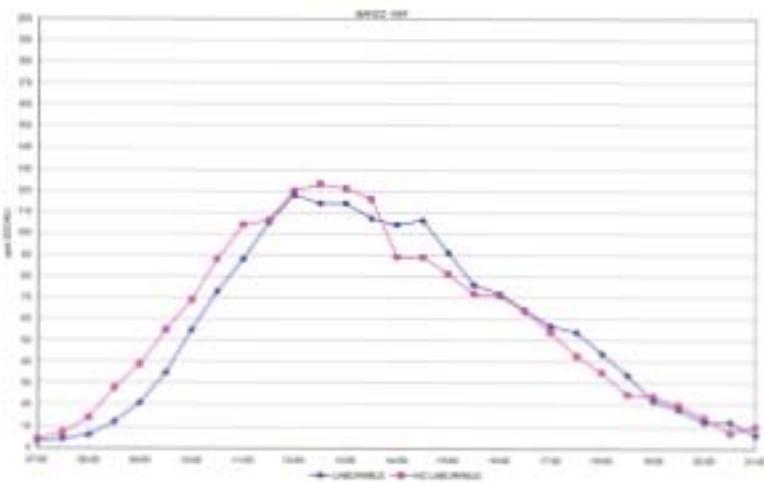
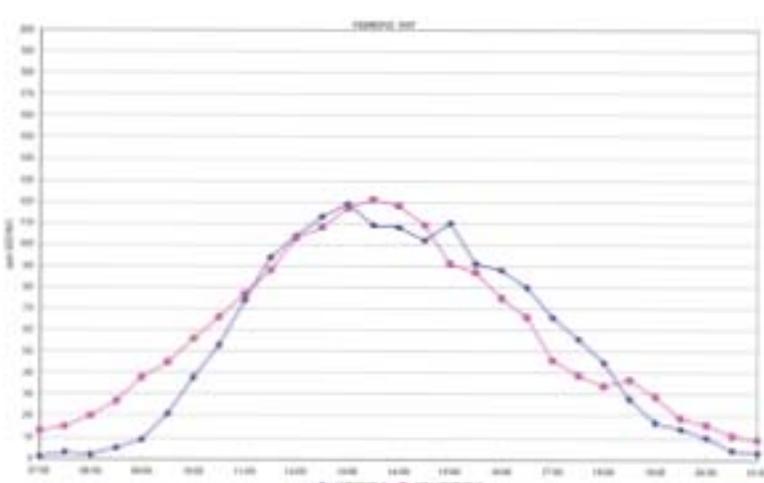
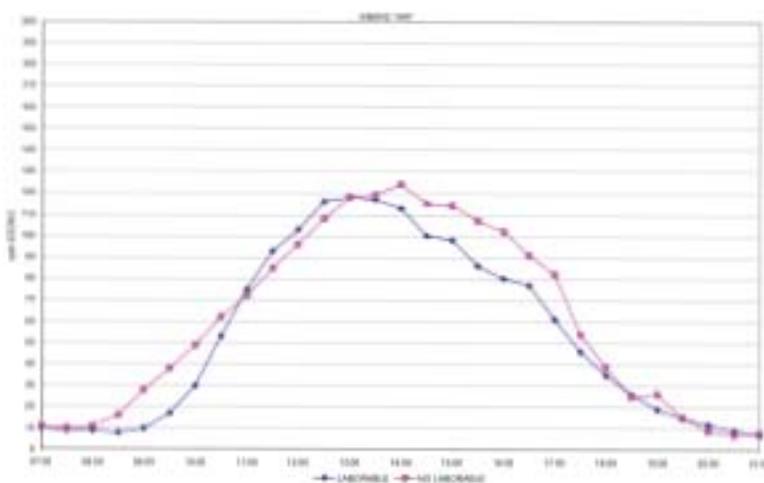
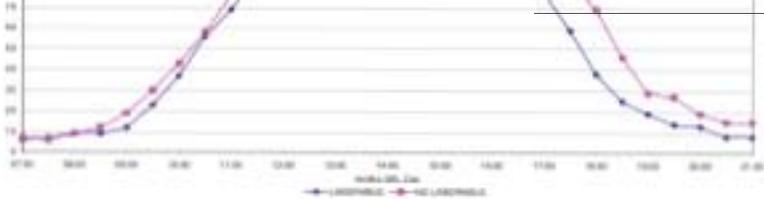
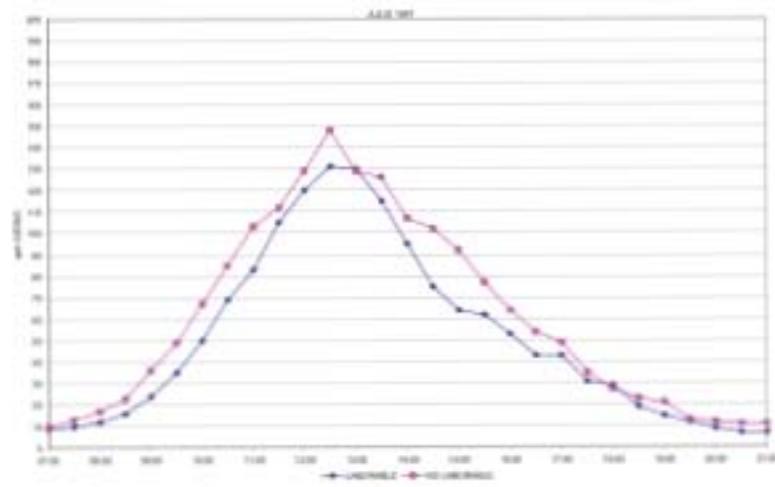
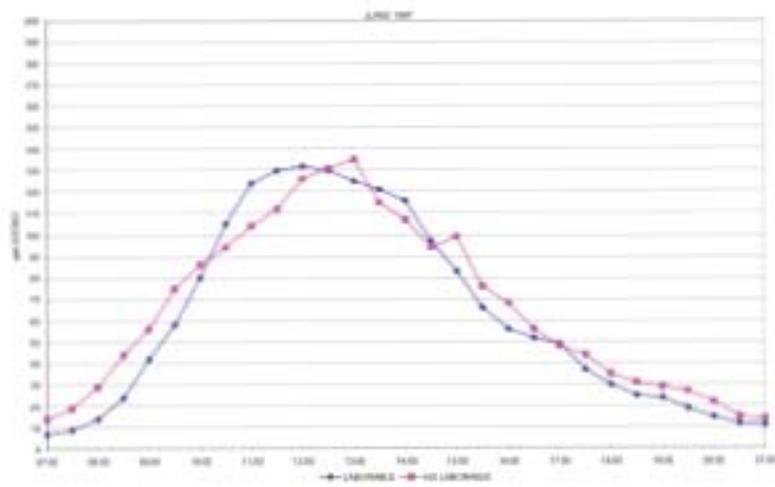
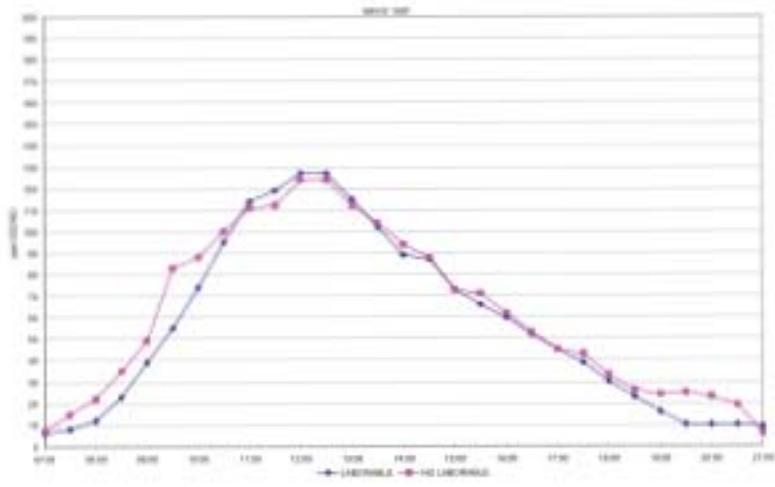
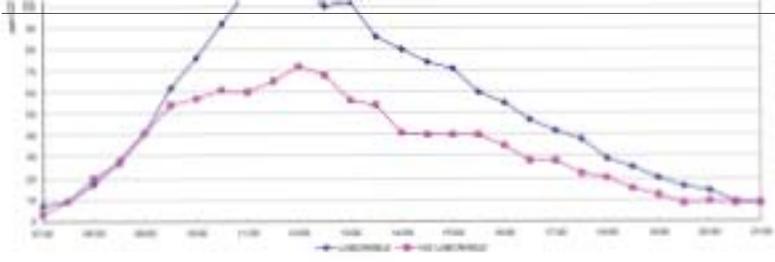


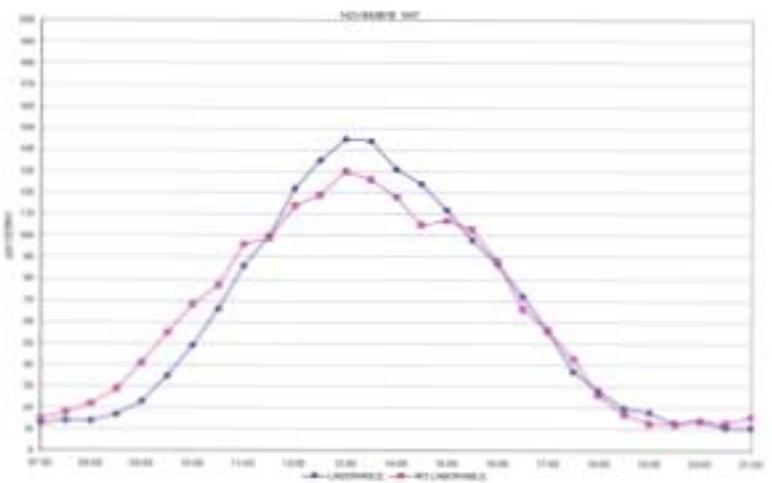
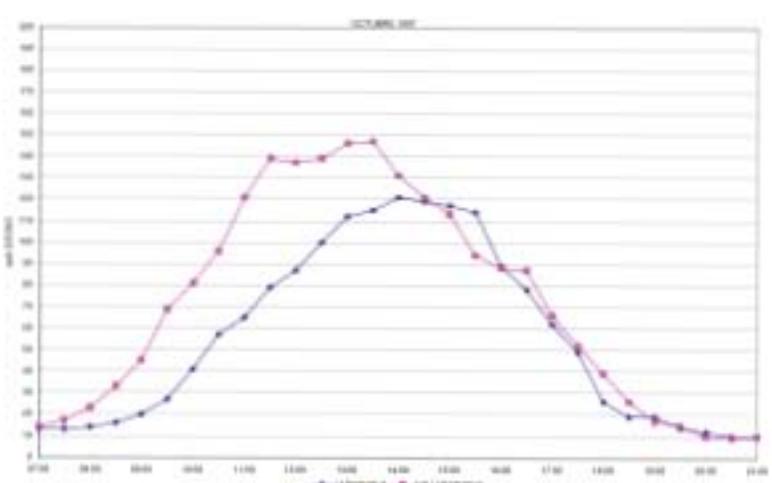
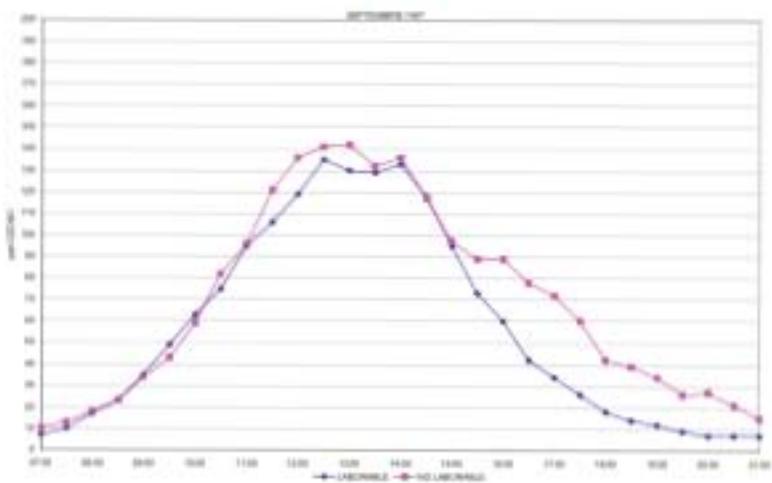
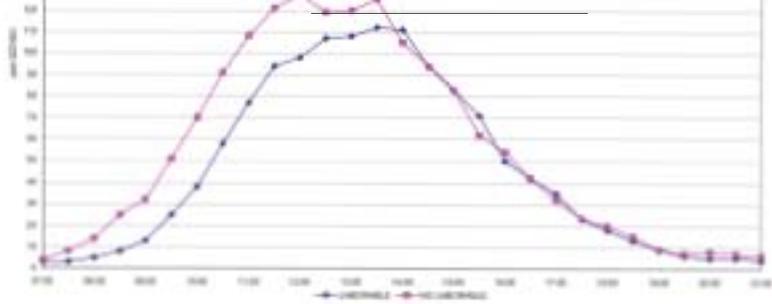
Figura 5.2. Concentraciones promedio horarias de ozono durante los distintos meses estudiados en el exterior del CCA, tanto para días laborables como no laborables.

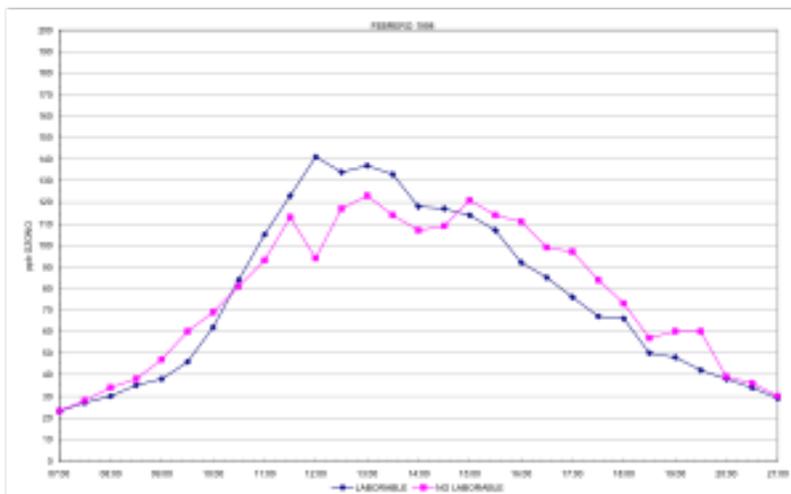
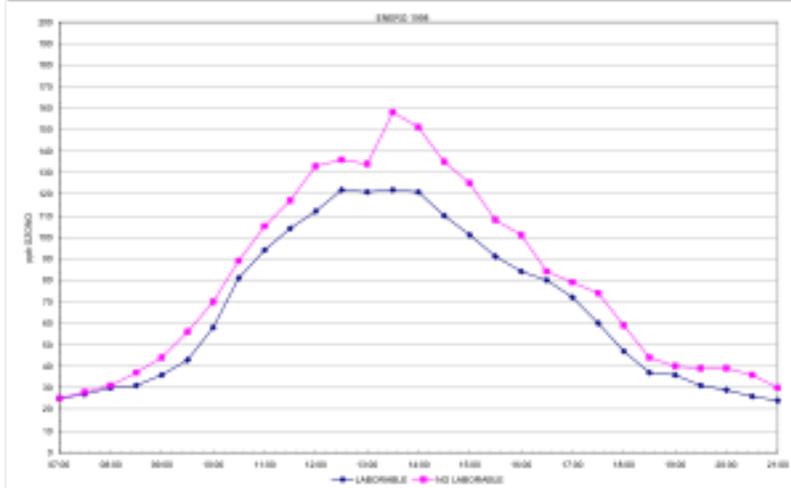
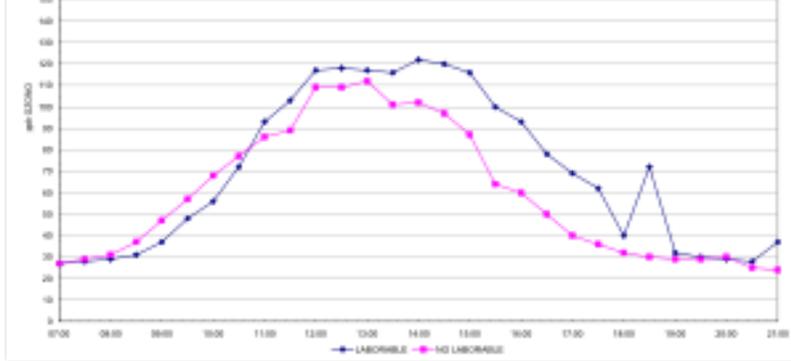












60

RESULTADOS OBTENIDOS

Las figuras presentadas mostraron el comportamiento de las concentraciones promedio horario durante el día para cada mes estudiado.

Se observa un incremento de los niveles de ozono durante la mañana, una máxima concentración después del medio día y a partir de ahí un decremento hasta alrededor de las 6 p.m. que es donde se alcanza la mínima concentración.

Con el fin de comparar las concentraciones de ozono encontrado con su Norma Mexicana de Calidad del Aire (NMCA), habrá que compararla con las concentraciones, duración de máximos y frecuencia de exposición que señala dicha norma (Anexo I).

5.3 Concentraciones de ozono en la atmósfera.

En la figura 5.3 se muestra el número de excedencias a la Norma Mexicana de la Calidad del Aire (NMCA) para ozono (0.11 ppm en una hora, no más de una vez al año) tanto en el interior como en el exterior. Así mismo se muestra una clara evidencia que el número de excedencias son mayores en el exterior. Sin embargo, el deterioro de la calidad del aire en el ambiente interior también es crítico. Los niveles registrados en el ambiente interior se encuentran por arriba de la NMCA en un tiempo promedio de 4 horas y, en la figura 5.4 se muestra el comportamiento de las concentraciones de ozono, tanto en el exterior como en el interior durante los días no laborables (excedencias).

Figura 5.3. Número de horas por arriba de la NMCA para ozono durante los días laborables, tanto en el exterior como en el interior.

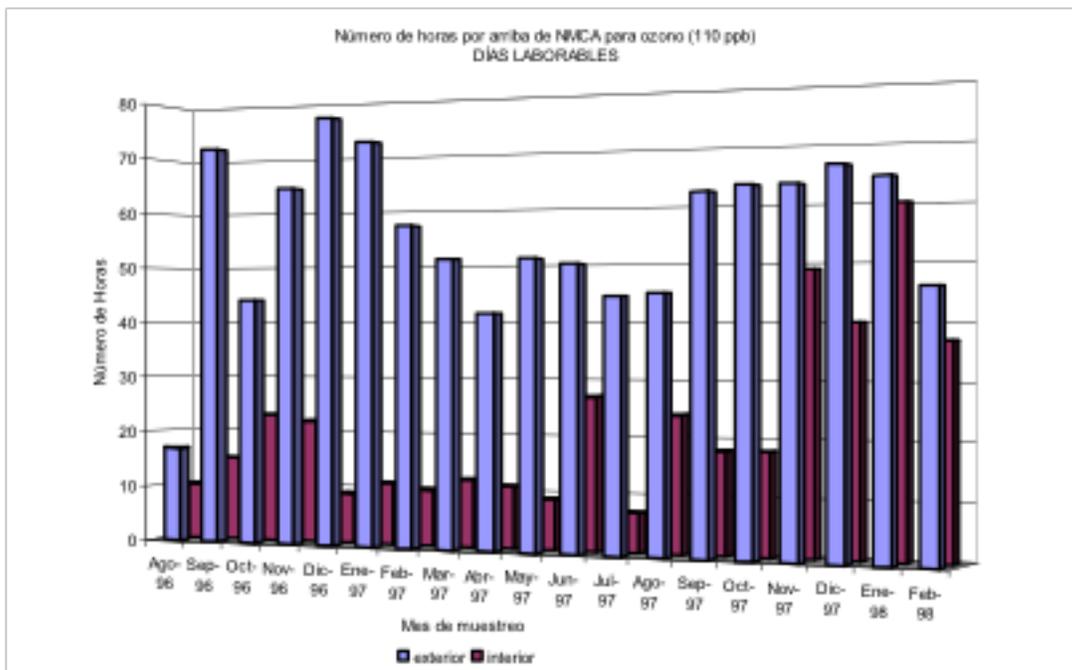
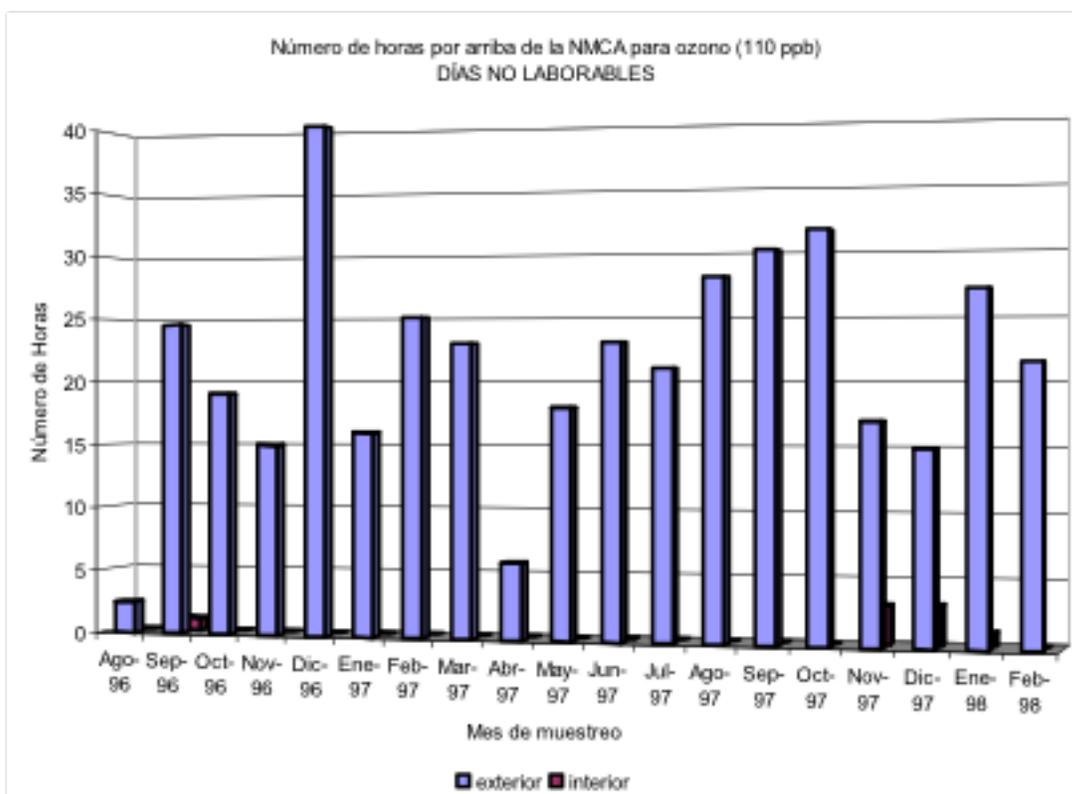


Figura 5.4. Número de horas por arriba de la NMCA para ozono durante los días no laborables, tanto en el interior como el exterior.



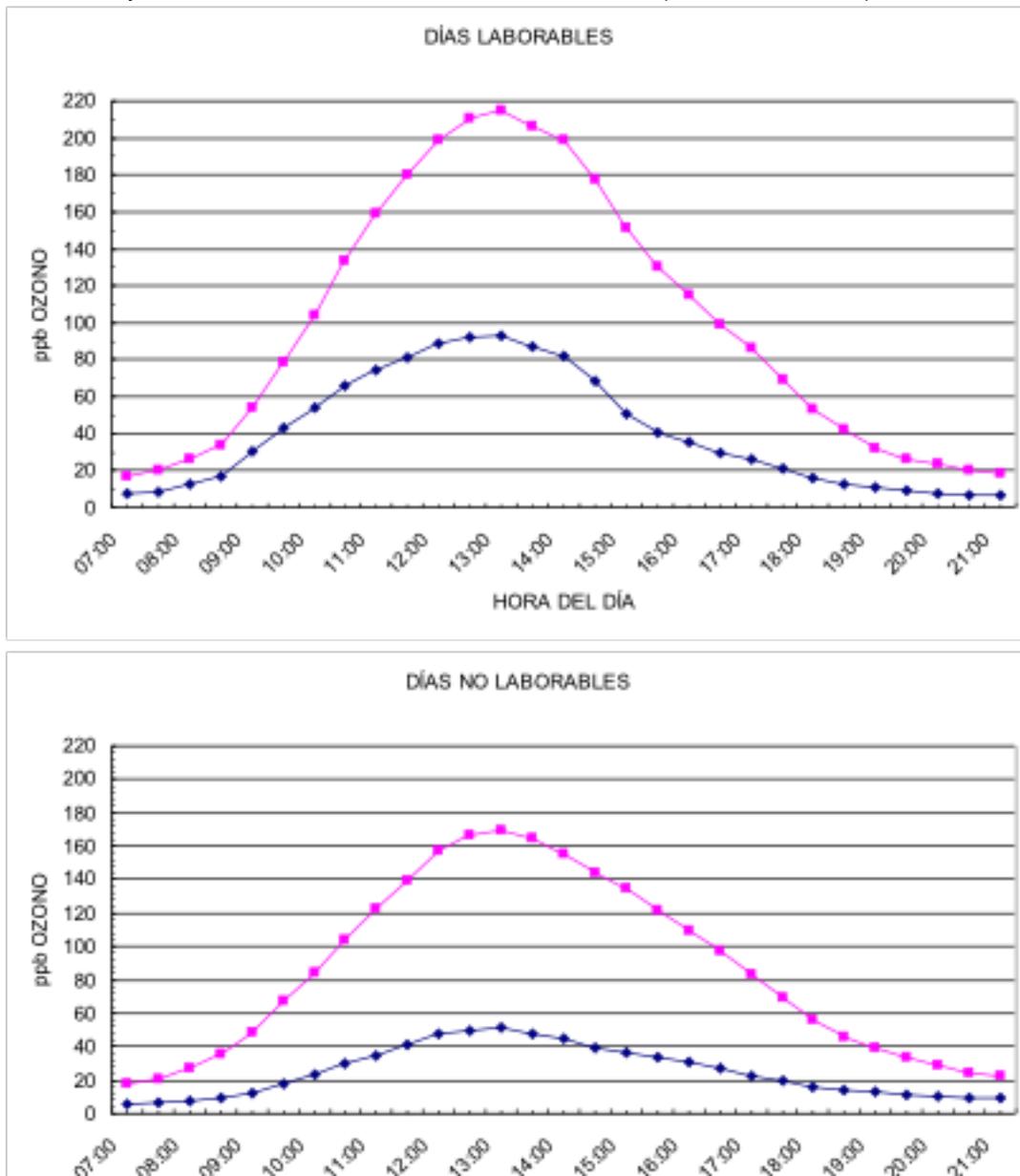
Este hecho, lleva a considerar la aplicación de medidas de control necesarias ya que sin duda se rebasa por mucho el límite máximo permisible que establece la NOM-020-SSA-1993.

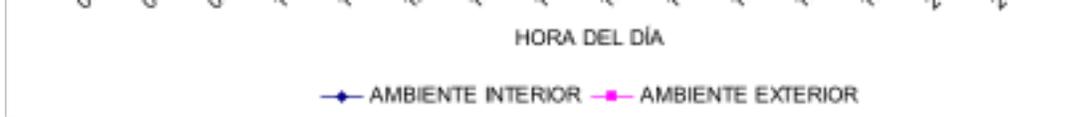
La figura 5.5 representa el comportamiento de las concentraciones de ozono promedio referente a los días laborables y no laborables para cada sitio de muestreo (interior – exterior), se esperaría que las concentraciones promedio de ozono disminuyeran considerablemente en los días no laborables (sábados y domingos) para el interior y exterior, pero no es el caso, ya que en el ambiente exterior las concentraciones promedio de ozono siguen siendo altas, mientras que en el interior a pesar de que hay disminución de tales concentraciones siguen siendo críticos porque con frecuencia exceden la NMCA para ozono.

Durante los períodos laborables, la contribución tanto del ambiente exterior como la generada en el interior es significativa en el área de fotocopiado. Generalmente, se observan altos niveles de ozono en el interior que representan un riesgo muy importante para la salud de los trabajadores que usan este tipo de máquinas de fotocopiado.

Durante la mañana y antes de que se produzca ozono por las reacciones fotoquímicas, los altos niveles de ozono del ambiente interior son observados.

Figura 5.5. Comportamiento de las concentraciones promedio de ozono referentes a días laborables y no laborables en los dos sitios de muestreo (interior – exterior).

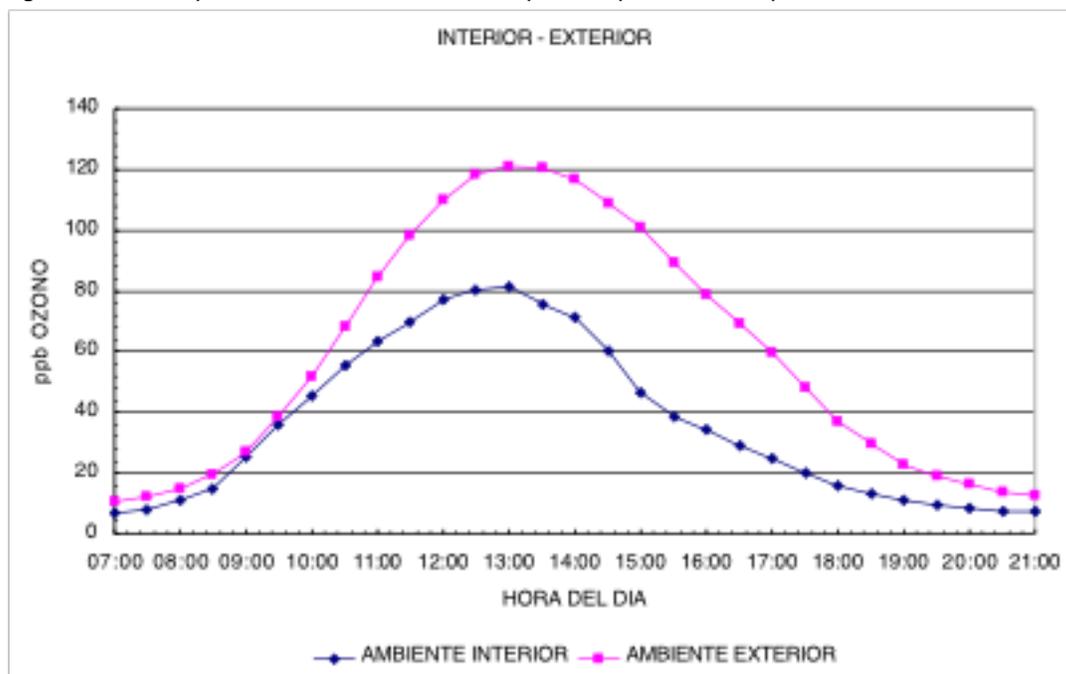




En la figura 5.6 se muestra el comportamiento de las concentraciones de ozono promedio tanto en el exterior como en el interior durante el período total de estudio, es claro que las concentraciones máximas promedio de ozono del exterior son mayores que las del interior pero, este hecho no deja de tener importancia para aplicar medidas para reducir al máximo las concentraciones de ozono que se generan en el proceso de fotocopiado.

Por eso la importancia de realizar estudios en ambientes interiores debería de tener un mayor interés hoy en día porque los nuevos materiales de limpieza y mantenimiento están compuestos con solventes o sustancias químicas que en algún momento pueden deteriorar nuestro organismo a exposiciones prolongadas.

Figura 5.6. Comparación Interior – Exterior para el período comprendido de muestreo.



Es notorio que las concentraciones promedio máximas de ozono en el exterior son más altas que las del interior, el aumento de estas concentraciones generalmente inicia en la mañana, aproximadamente a las 10 de la mañana llegando a un máximo registrándose a las 13:00 horas y descienden aproximadamente a las 15:00 horas llegando a sus niveles mínimos a las 18:00 horas.

Estas concentraciones máximas promedio de ozono fueron las que se registraron en los 19 meses que duró el muestreo. Actualmente, se debe tener control sobre el ambiente exterior ya que el ozono al igual que otros contaminantes que rebasan la Norma Oficial Mexicana de la Calidad del Aire correspondiente dan lugar al deterioro de la Calidad del Aire. Por eso, se deben tomar medidas adecuadas para controlar las emisiones de cualquier contaminante que perjudique a la Calidad del Aire no sólo del exterior sino también del interior.

6 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Anteriormente, se había trabajado con una base de datos que fue diseñada para registrar las concentraciones de ozono para los días laborables y no laborables tanto para el ambiente interior como el exterior. En el análisis anterior sólo se realizó en función de los días laborables y no laborables tanto para las concentraciones máximas promedio del interior como del exterior, es decir, que mediante las figuras elaboradas se observó el comportamiento o la variación de las concentraciones promedio de ozono mediante los días laborables y días de fin de semana (sábado y domingo) o no laborables.

Aunque la diferencia entre días laborables y días no laborables no es drástica en el exterior, si lo es para el caso del interior en donde no solamente se suspende la actividad de fotocopiado sino además se cierra el cuarto destinado para ese fin, lo que disminuye la influencia de la contaminación atmosférica infiltrada en el interior.

Las diferencias aparentes en las concentraciones de ozono entre los dos sitios de muestreo estudiados, así como la variación temporal de las concentraciones para cada sitio, se deberán aceptar o rechazar, para lo cual es indispensable la inferencia estadística.

Resulta conveniente hacer un análisis más intenso para interpretar la relación que existe entre el ambiente interior con el exterior, de que forma varían uno del otro, si existe alguna diferencia significativa, etc. Para dicho análisis fue conveniente utilizar el programa SPSS. Cabe señalar que para el análisis estadístico se tomaron en cuenta como los días no laborables: sábado y domingo, días feriados y el período de vacaciones; para los días laborables se tomaron en cuenta los días de la semana (lunes a viernes).

6.1 Prueba de Normalidad.

Se aplica esta prueba de normalidad con el propósito de verificar si los resultados obtenidos, concentraciones del interior y exterior, obedecen a una distribución simétrica, comúnmente conocida como la campana de Gauss, generalmente esta prueba se realiza mediante la conocida prueba no paramétrica de Kolmogorov – Smirnov que es utilizada para determinar la bondad de ajuste de la distribución de datos.

Se analizó por separado cada tipo de ambiente, posteriormente se dará lugar a comparar los dos sitios de muestreo (interior – exterior) para conocer la relación que existe entre ellos y si existe diferencia significativa.

Este análisis de significancia se realizó contemplando la media (promedio) de los valores de las concentraciones de ozono tanto del interior como del exterior (poblaciones) para identificar si existe alguna diferencia significativa entre estos dos sitios de muestreo y aplicando la prueba estadística no paramétrica correspondiente se llegó a la conclusión para proponer estrategias de control para cada sitio. Tales pruebas no paramétricas son: Mann – Whitney (prueba para dos poblaciones independientes), Kruskal – Wallis (prueba para varias poblaciones independientes), Wilcoxon y Signos (prueba para dos poblaciones relacionadas), Friedman y Kandall (prueba para varias poblaciones relacionadas). En estas dos últimas pruebas el

análisis se hizo de manera global, es decir que, el análisis se hizo sobre los 19 meses de muestreo.

Se considera un nivel de significancia de 0.05 al 95% de confianza. Estableciendo una hipótesis nula de que los promedios son iguales, si el nivel de significancia de la prueba es menor a 0.05 se rechazará la hipótesis nula.

Para cada tipo de ambiente se aplicó la prueba no paramétrica de Kolmogorov – Smirnov, el resultado se muestra en la tabla 6.1 y 6.2 para el ambiente interior y exterior respectivamente, con el propósito de identificar si corresponden a distribuciones simétricas.

En la figura 6.1 se muestra la bondad de ajuste para el ambiente interior, la figura se construyó para los 19 meses de muestreo desde Agosto 1996 hasta Febrero de 1998. En el histograma se presentan la media, la desviación típica y el número total de datos introducidos, también se muestra la frecuencia de las barras y las concentraciones, que en este caso son las del interior.

En la figura 6.4 se muestra el comportamiento del ambiente exterior, también se presenta la media, la desviación típica, el número total de datos muestrales, la frecuencia y las concentraciones del exterior para el período comprendido de muestreo.

La media es la suma de todas las puntuaciones divididas por el número de puntuaciones.

La desviación típica mide el grado en el que las puntuaciones de la variable se alejan de su media.

Frecuencia es la escala y/o etiqueta del eje correspondiente a la altura de las barras.

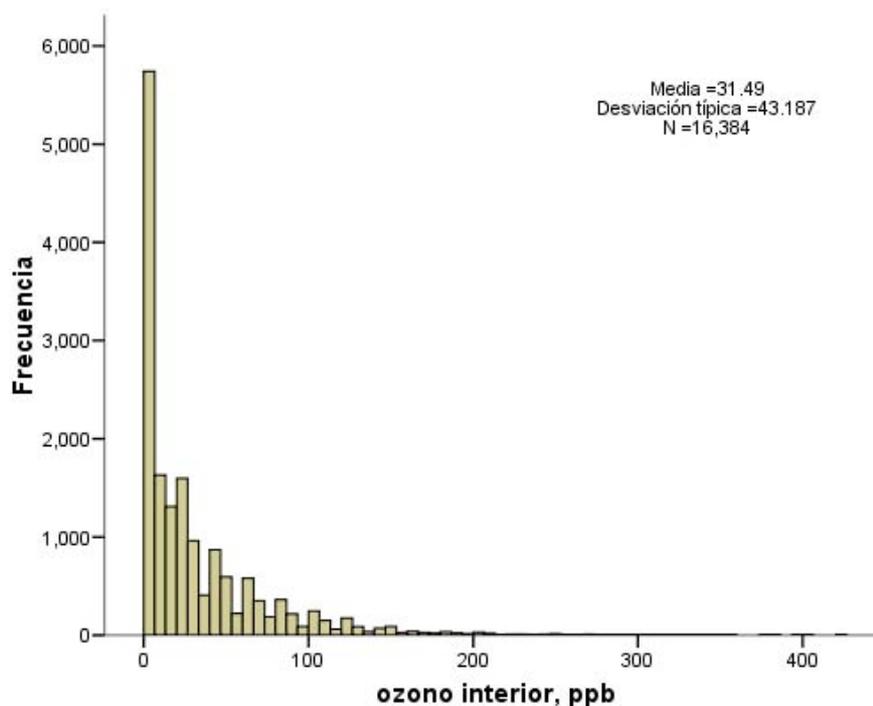
Tabla 6.1. Prueba de normalidad para el ambiente interior. Agosto 1996-Febrero 1998.

Pruebas de normalidad			
SITIO	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
INTERIOR, ppb	0.233	16384	0.000
^a Corrección de la significación de Lilliefors			

La información que nos brinda la tabla anterior referente al ambiente interior es que la distribución de las concentraciones de ozono en el interior, expresadas en unidades de ppb (partes por billón) no obedecen a una distribución simétrica y/o normal. Se dice esto porque la tabla muestra el resultado de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, aparece el estadístico de la prueba, es decir, la media de los datos introducidos que es de 0.233; aparece los grados de libertad que se define como el número de N observaciones independientes en la distribución de datos (el tamaño de la distribución) menos el número k de parámetros de la distribución (media y varianza): $gl = N - k$ (generalmente $k = 1$); y se muestra el nivel de significancia (Sig.), cabe señalar que se rechaza la hipótesis de normalidad si el nivel de significancia es menor a 0.05, finalmente, la prueba de Kolmogorov – Smirnov es corregida por la prueba de Lilliefors ya que es una herramienta un poco más potente que la de Smirnov porque estima los parámetros: media y varianza. El programa de SPSS no arroja la prueba de Lilliefors sólo realiza la corrección al método de Kolmogorov – Smirnov.

La distribución de datos, concentraciones de ozono del interior, no obedece a una distribución de normalidad ya que el nivel de significancia de Kolmogorov – Smirnov es de 0.000 (redondeado) siendo menor a 0.05 que es el nivel de significancia establecido, por tanto, se rechaza la hipótesis de normalidad concluyendo que los datos de la distribución de las concentraciones de ozono no provienen de una distribución normal.

Figura 6.1. Histograma para el ambiente interior (Agosto 1996 – Febrero 1998).



Se observa claramente que la distribución de datos no corresponde a una distribución normal ya que no existe una distribución de datos en forma de campana simétrica en el histograma. Se observa, un sesgo en el diagrama porque en la distribución de datos se localiza una “cola” del lado derecho, por lo tanto, se dice que la distribución de datos esta positivamente sesgada y es asimétrica.

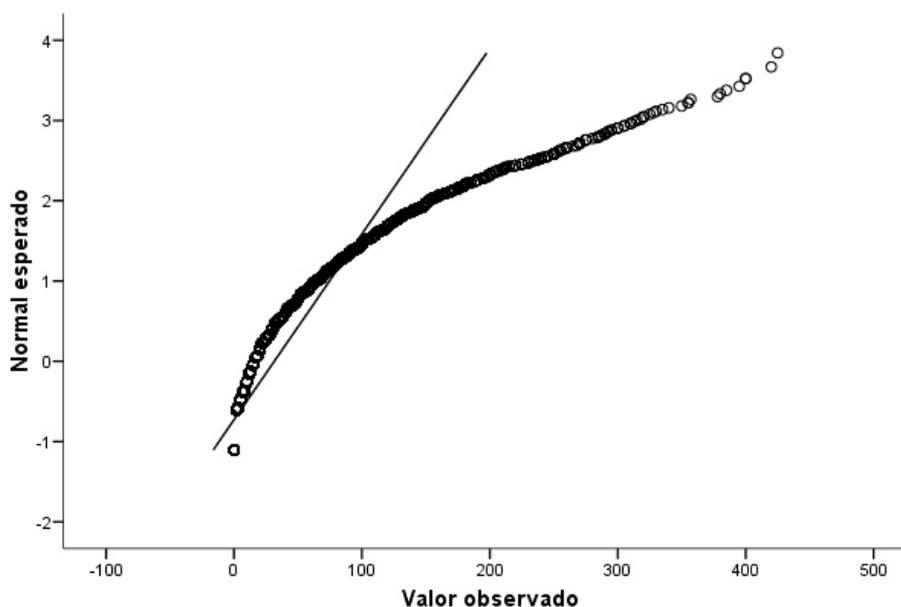
El problema de estos y otros procedimientos estadísticos de normalidad es que, con muestras tan grandes, son demasiado sensibles a pequeñas desviaciones de la normalidad. Por esta razón, es conveniente acompañar estos estadísticos con alguna representación de normalidad: *Q-Q normal* y el *Q-Q normal sin tendencia*.

En un gráfico *Q-Q normal* (Cuantil real – Cuantil teórico normal): el eje de abscisas están representados los valores observados ordenados desde el más pequeño al más grande (Y_i), en el eje de las ordenadas están representadas las puntuaciones típicas normales (NZ_i). Cuando una muestra procede de una población normal, los puntos correspondientes a cada par se encuentran agrupados en torno a la diagonal representada en el diagrama. Las desviaciones de la diagonal indican desviaciones de la normalidad.

Un gráfico *Q-Q normal sin tendencia* (Cuantil real – Cuantil teórico normal con tendencia): muestra las diferencias existentes entre la puntuación típica observada de cada valor (Z_i) y su correspondiente puntuación típica normal (NZ_i). Es decir, muestra las distancias verticales existentes entre cada punto del gráfico *Q-Q normal* y la recta diagonal. En el eje de abscisas están representados los valores observados (Y_i) y en el de ordenadas el tamaño de las diferencias entre las puntuaciones típicas observadas y las esperadas ($Z_i - NZ_i$). Si la muestra procede de una población normal, esas diferencias deben oscilar de forma aleatoria en torno al valor cero (línea recta horizontal). La presencia de pautas de variación no aleatorias indica desviaciones de la normalidad.

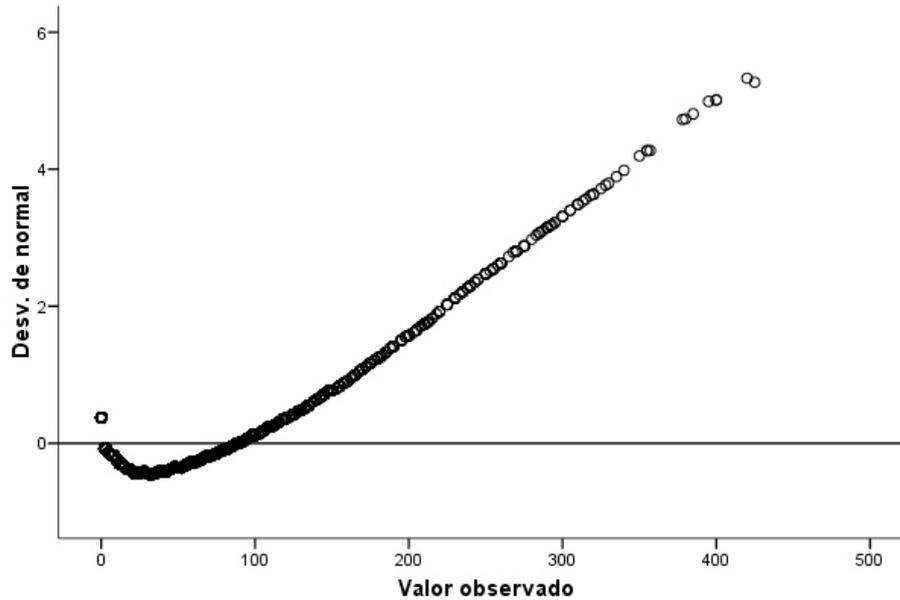
En la figura 6.2 y 6.3 se muestra el comportamiento de la distribución de las concentraciones de ozono con base en el diagrama *Q-Q normal* y el *Q-Q normal sin tendencia*.

Figura 6.2. Diagrama Q-Q normal para el ambiente interior. (Agosto 1996 - Febrero 1998).



Se puede observar que la distribución de datos no conlleva a una tendencia de normalidad ya que los datos no siguen a la diagonal representada en el diagrama, los datos de las concentraciones de ozono quedan muy distantes de la diagonal para el ambiente interior.

Figura 6.3. Diagrama Q-Q normal sin tendencia para el ambiente interior. (Agosto 1996 - Febrero 1998).



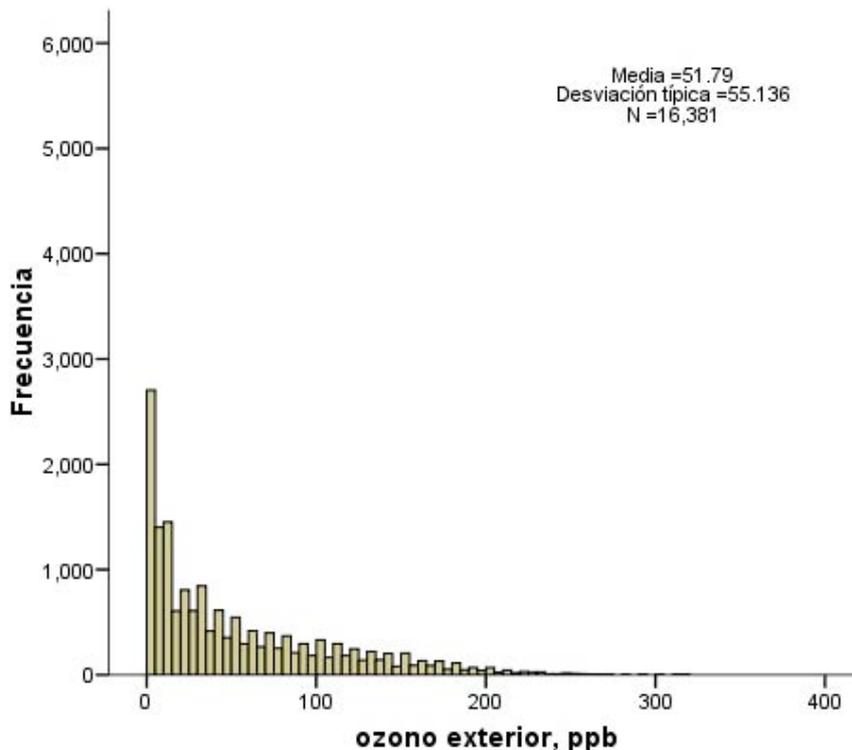
Mediante el gráfico observa que la distribución de datos de las concentraciones de ozono no oscilan entre la línea recta horizontal, lo cual quiere decir que la distribución de datos no proceden de una distribución normal ya que las desviaciones de los datos quedan alejadas de la línea horizontal.

Tabla 6.2. Prueba de normalidad para el ambiente exterior. Agosto 1996 - Febrero 1998.

Pruebas de normalidad			
SITIO	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
EXTERIOR, ppb	0.174	16381	0.000
^a Corrección de la significación de Lilliefors			

La información que se obtiene de la tabla anterior es que mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov aplicada a la distribución de datos de las concentraciones de ozono en el exterior no corresponde a una distribución de normalidad ya que el nivel de significancia (Sig.) que se obtiene para el exterior es 0.000 (redondeado) siendo menor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis de normalidad y se concluye que los datos de las concentraciones de ozono del exterior no provienen de una distribución normal. Se muestra también el estadístico de los datos introducidos y también los grados de libertad, 0.174 y 16381 respectivamente. En la figura 6.4 se representa, por medio de un histograma, la bondad de ajuste para el ambiente exterior.

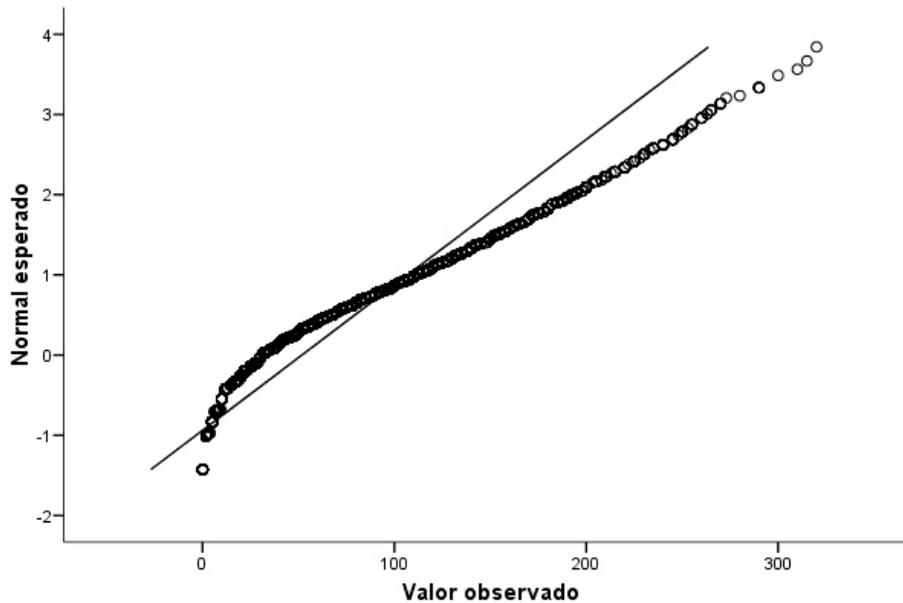
Figura 6.4 Histograma representativo para el ambiente exterior (Agosto 1996 – Febrero de 1998).



En el diagrama anterior se observa que la distribución de datos de las concentraciones de ozono en el exterior no es una distribución de normalidad ya que en dicho diagrama no existe una distribución de datos acampanada simétrica; por lo tanto, también para el ambiente exterior, la distribución de datos esta positivamente sesgada y es asimétrica.

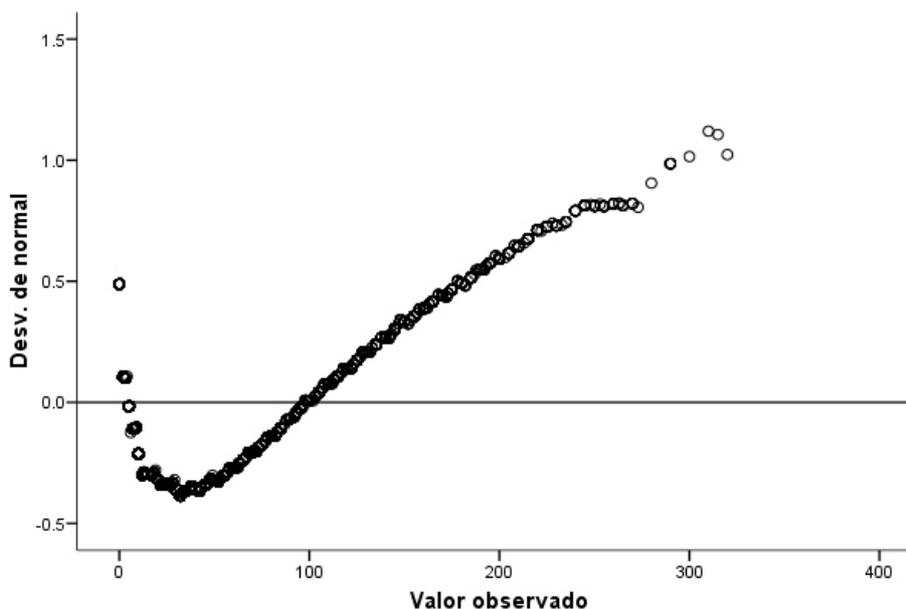
La comparación entre el ambiente interior y exterior más adelante se detallará porque es importante conocer la diferencia que existe entre la media del interior y exterior así como también saber si existe alguna diferencia significativa entre estos dos tipos de ambientes para llegar a una propuesta de control de las emisiones de ozono.

Figura 6.5. Diagrama Q-Q normal para el ambiente exterior. (Agosto 1996 – Febrero 1998).



La distribución de datos de las concentraciones de ozono del exterior sale de la diagonal que representa la línea de normalidad, prácticamente los datos quedan alejados de dicha línea lo que quiere decir que no hay normalidad en la distribución de datos, la distribución de datos (valor esperado) no obedece a una distribución de normalidad.

Figura 6.6. Diagrama Q-Q normal sin tendencia para el ambiente exterior. (Agosto 1996 – Febrero 1998).



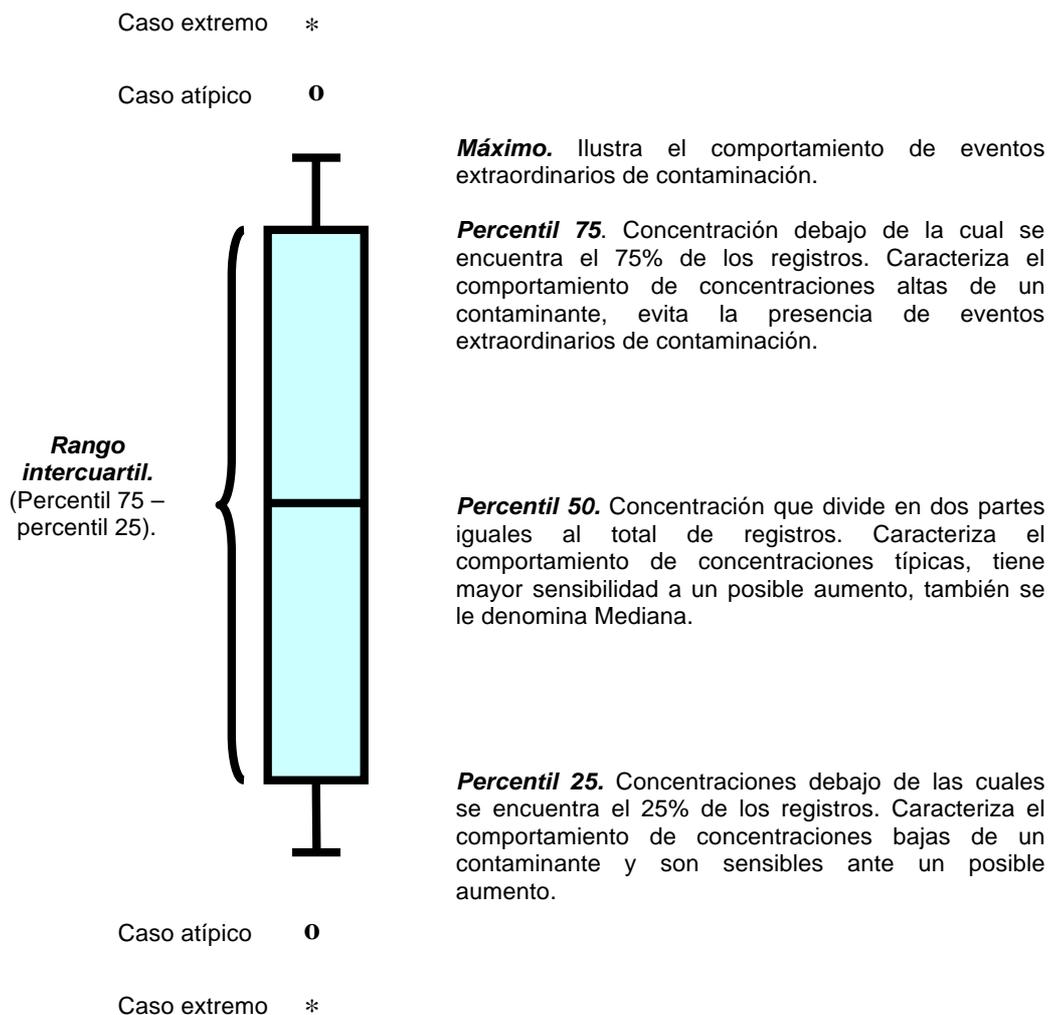
Se observa que la desviación de la distribución de los datos de las concentraciones de ozono queda lejos de la línea horizontal; es decir, que los datos no oscilan entre esta

línea, lo cual quiere decir que la distribución de datos no proviene de una distribución de normalidad.

Se observa a partir de los gráficos presentados que la distribución de datos de las concentraciones de ozono, tanto del interior como del exterior no obedece a una distribución normal.

6.2 Comparación entre las concentraciones de ozono en el interior y el exterior.

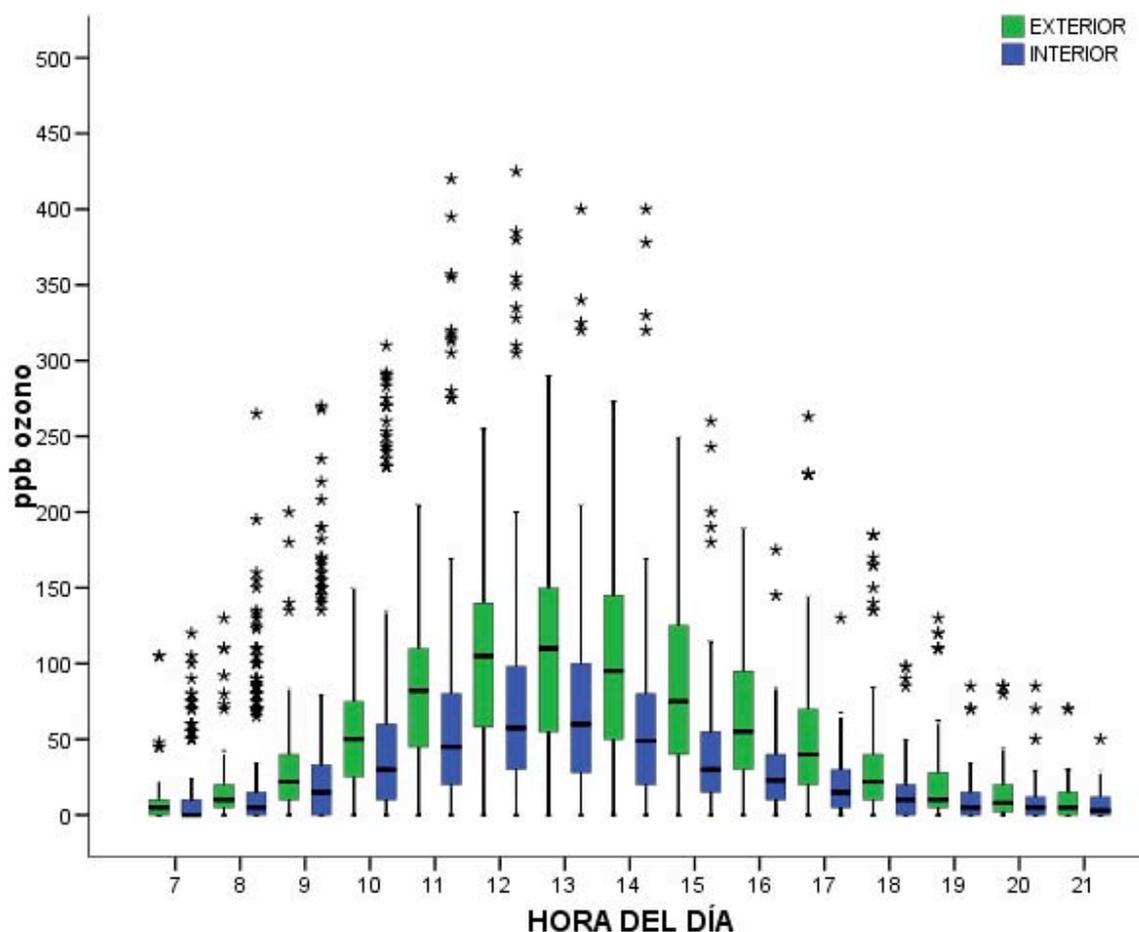
Para ilustrar el comportamiento de las concentraciones de ozono se empleo un diagrama de cajas el cual nos permite visualizar el comportamiento tanto en el interior como en el exterior considerando la hora del día, días laborables y no laborables, año y mes de las concentraciones de ozono. Cabe señalar que en el apartado de resultados obtenidos (Capítulo 6), los días no laborables se consideraron sólo los sábados y domingos; ahora, en esta parte que es la evaluación de resultados y para un mejor análisis, los días no laborables corresponden a los fines de semana (sábado y domingo) incluyendo también los días feriados así como el período de vacaciones del CCA-SCA-UNAM. Las características de un diagrama de caja son las siguientes:



Rango intercuartil. Caracteriza la variación de concentraciones típicas. Evita la influencia del 25% de las concentraciones más altas y del 25% de las concentraciones más bajas de un conjunto de datos.

En la figura 6.7 se muestra la variación de las concentraciones horarias de ozono durante el día tanto en el interior como en el exterior, dicho gráfico contempla los 19 meses de muestreo (Agosto 1996 – Febrero 1998) para cada hora del día.

Figura 6.7. Variación de las concentraciones horarias de ozono durante el día, tanto en el interior como en el exterior.



Claramente se observa que las medianas de las concentraciones de ozono son mayores en el exterior que en el interior. Por otro lado, al haber valores extremos en ambos casos, interior y exterior, indica que existe un grado de asimetría en la distribución de las concentraciones de ozono; también, si observamos la línea que divide a las cajas (mediana) tanto del interior como del exterior nos damos cuenta de que esa línea no está exactamente en el centro de la caja lo cual indica que no hay simetría en la distribución de las concentraciones de ozono para los dos sitios de muestreo.

Los percentiles 75, tanto en el interior como en el exterior representan el comportamiento de concentraciones altas de ozono, mientras que los percentiles 25, representan el comportamiento de las concentraciones bajas de ozono siendo sensibles a un posible aumento y la mediana caracteriza el comportamiento del conjunto de las concentraciones de ozono (altos o bajos) para el exterior e interior, la cual contiene el 50% de los datos. La concentración máxima (mediana) de ozono fue de 275 ppb.

Durante el período de muestreo (Agosto 1996 – Febrero 1998) se encontró que hubo concentraciones horarias altas de ozono entre las 11 y 15 horas para el exterior,

mientras que para el interior dichas concentraciones se presentaron entre las 12 y las 14 horas sobre el límite máximo permisible establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-020-SSA1-1993) que es de 110 ppb.

Los casos extremos que aparecen en los diagramas de caja resultan ser erróneos ya que probablemente no se leyó adecuadamente el registro de datos (concentraciones de ozono), quizá el equipo no funcionó correctamente, también puede ser por un aspecto de calibración, etc.

Los casos extremos son valores alejados más de 3 longitudes de caja del percentil 75.

La tabla 6.3 indica si existe diferencia significativa en los dos sitios de muestreo de manera independiente, se trabajó con la prueba no paramétrica de Mann – Whitney para dos poblaciones independientes.

Tabla 6.3. Prueba no paramétrica de Mann – Whitney por hora del día.

PRUEBA DE MANN - WHITNEY		
	INTERIOR	EXTERIOR
U de Mann-Whitney	298688.000	307289.500
W de Wilcoxon	937703.000	945174.500
Z	-2.345	-1.256
Sig.	0.019	0.209
HORA DEL DÍA		

En la tabla se muestra el resultado de la prueba estadística no paramétrica de Mann – Whitney así como también el de Wilcoxon, las dos pruebas tienen distinto valor de significancia (Sig.), también se muestra el valor estadístico para cada prueba no paramétrica (U, W) los cuales son poco diferentes y, el valor de tipificación (Z) para cada sitio de muestreo.

Como el valor de significancia de Mann – Whitney (prueba para dos muestras independientes) es de 0.019 para el interior se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se concluye que sí hay diferencia significativa en el interior por hora del día, ya que el nivel de significancia (0.019) es menor a 0.05. Para el exterior no hay tal diferencia significativa ya que su nivel de significancia (2.09) es mayor a 0.05, por lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias.

Se realizó otra prueba no paramétrica, Kruskal – Wallis (varias poblaciones independientes) para identificar si existe alguna diferencia significativa. En la tabla 7.4 está el resultado de dicha prueba no paramétrica.

La información de la tabla es referente al estadístico de Kruskal – Wallis (Chi-cuadrado), sus grados de libertad (gl) y su valor de significancia (sig.). Puesto que el valor de significancia, tanto para el exterior como el interior, es 0.000 (redondeado) siendo menor a 0.05, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se concluye que en los dos sitios de muestreo hay diferencia significativa.

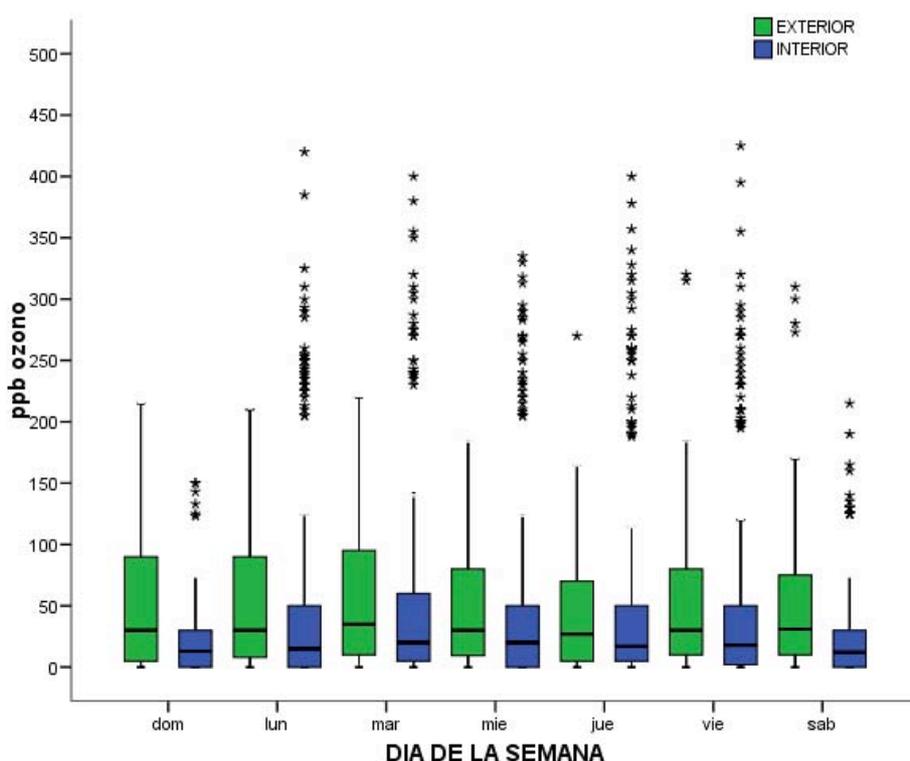
Tabla 6.4. Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis por hora del día.

PRUEBA DE KRUSKAL – WALLIS		
	INTERIOR	EXTERIOR
Chi-cuadrado	5245.989	6255.074
gl	14	14
Sig.	0.000	0.000
HORA DEL DÍA		

Si analizamos el comportamiento de las concentraciones de ozono referente a los días de la semana (domingo – lunes) tanto en el interior como en el exterior nos podemos dar cuenta de que la variación durante los diferentes días de la semana de las concentraciones de ozono, podría resultar significativa tanto para el ambiente exterior como del interior tal y como se indica en la figura 6.8.

Se observa que la distribución de las concentraciones de ozono de la figura 6.8 tiene un grado de asimetría por los valores extremos que se presentan en el diagrama, siendo notorio que para el ambiente exterior la media permanece casi constante durante los días de la semana, mientras que, en el interior la media varía según el día de la semana. Se muestra que en el ambiente exterior hay un mayor intervalo de concentraciones de ozono dispersas que en el ambiente interior lo que quiere decir que en el ambiente exterior existe una mayor concentración de ozono que en el interior. Sucede lo mismo para el ambiente interior, las concentraciones de ozono por arriba de la mediana están más dispersas que las concentraciones menores a este valor.

Figura 6.8. Variación de las concentraciones de ozono durante los 19 meses de muestro tanto para el exterior como el interior referente a los días de la semana.



Al presentar la mediana, las concentraciones de ozono en el exterior, un comportamiento casi constante, siendo aparentemente igual entre los diferentes días de la semana será aceptada o rechazada por inferencia estadísticas que a continuación será analizada en la tabla 6.5.

Tabla 6.5. Prueba no paramétrica: Mann – Whitney por día de la semana.

PRUEBA DE MANN – WHITNEY		
	INTERIOR	EXTERIOR
U de Mann-Whitney	2685147.500	2718449.500
W de Wilcoxon	5445222.500	5410809.500
Z	-0.878	-0.139
Sig.	0.380	0.889
DIA DE LA SEMANA		

Como el valor de significancia de Mann – Whitney (prueba para dos muestras independientes) es de 0.380 no se puede rechazar la hipótesis nula concluyendo que no hay diferencia significativa en los diferentes días de la semana para el interior, así como también en el exterior ya que el valor de significancia es de 0.889 siendo mayor de 0.05.

Utilizando otra prueba no paramétrica, Kruskal – Wallis (prueba para varias muestras independientes), nos damos cuenta de que si existe una diferencia significativa ya que el nivel de significancia de la prueba es menor a 0.05. Ver tabla 6.6.

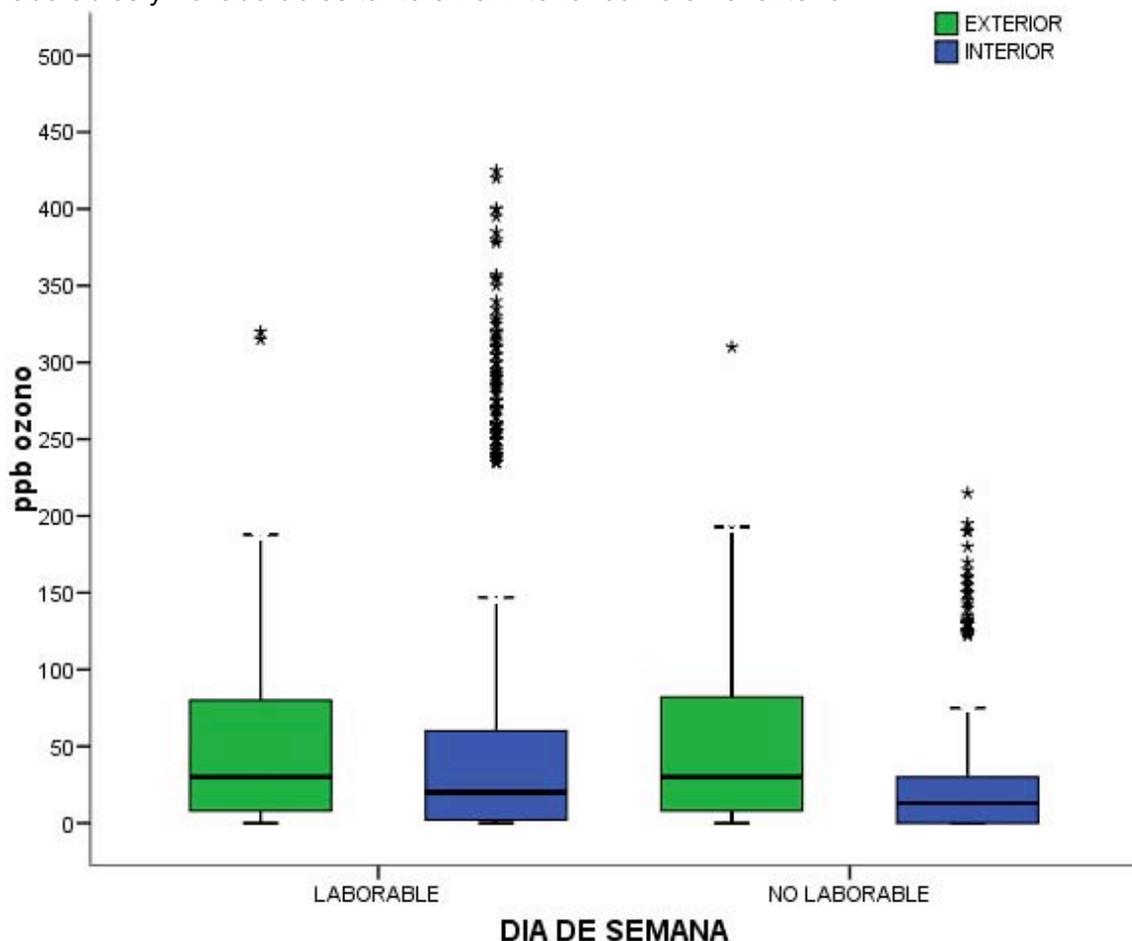
En la tabla 6.6 contiene el estadístico Kruskal – Wallis (Chi – cuadrado), sus grados de libertad (gl) y su nivel crítico (Sig.), puesto que el valor de significancia es de 0.000 (redondeado) es menor a 0.05, podemos rechazar la hipótesis de igualdad de promedios y concluir que las poblaciones comparadas difieren significativamente.

Tabla 6.6. Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis por día de la semana.

KRUSKAL – WALLIS		
	INTERIOR	EXTERIOR
Chi-cuadrado	308.473	38.631
gl	6	6
Sig.	0.000	0.000
DIA DE LA SEMANA		

Si comparamos los días laborables y no laborables, tanto en el exterior como en el interior (ver figura 6.9) nos damos cuenta que las concentraciones del exterior así como la media representativa permanecen constantes en los días laborables y no laborables, mientras que para el ambiente interior las concentraciones de ozono en los días laborables son mayores que en los días no laborables.

Figura 6.9. Comparación de las concentraciones de ozono obtenidas durante los días laborables y no laborables tanto en el interior como en el exterior.



Siguen existiendo valores extremos los cuales indican asimetría en la distribución de las concentraciones de ozono. Se esperaba que las concentraciones de ozono del exterior para los días no laborables disminuyeran, sin embargo, se observa que las concentraciones de ozono permanecen iguales que los días laborables. Se observa la consistencia del ambiente exterior referente a la mediana lo cual procede a hacer un análisis para identificar si existe alguna diferencia significativa para el ambiente interior y exterior.

En la tabla 6.7 se muestra el contenido de la prueba de Mann – Whitney para el interior y exterior referente al día laborable y no laborable. El nivel de significancia es de 0.000 (redondeado) que es menor que 0.05, para el ambiente interior, por lo cual se puede rechazar la hipótesis de igualdad de promedios y concluir que la distribución de datos difiere significativamente para el día laborable y no laborable. Por otro lado, el valor de significancia (0.523) es mayor que 0.05, para el exterior, por lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula; es decir, no hay diferencia significativa en el exterior para los días laborables y no laborables.

Tabla 6.7. Prueba no paramétrica Mann – Whitney por día laborable y no laborable.

PRUEBA DE MANN – WHITNEY		
	INTERIOR	EXTERIOR
U de Mann-Whitney	26410180.000	31817972.000
W de Wilcoxon	47137321.000	52545113.000
Z	-19.160	-0.639
Sig.	0.000	0.523
DÍA LABORABLE Y NO LABORABLE		

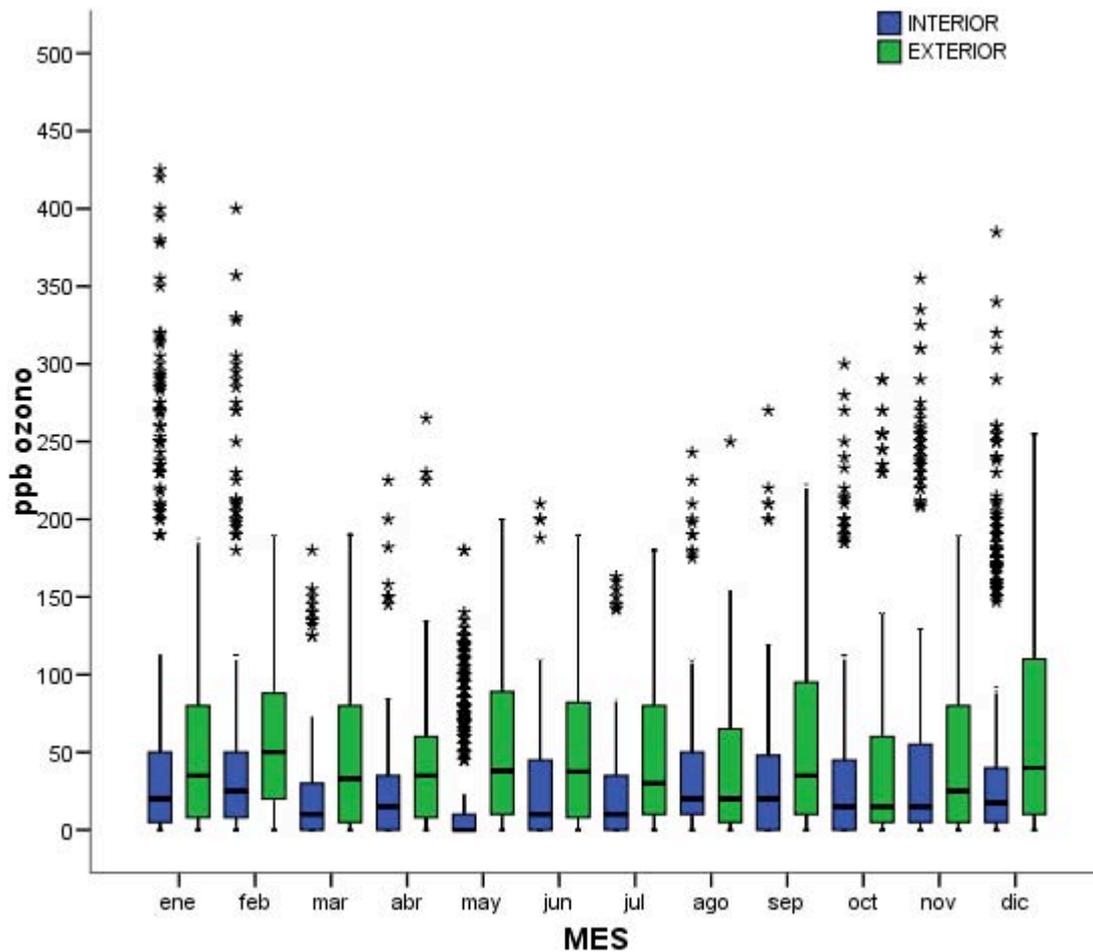
Por medio de la prueba de Kruskal – Wallis, tabla 6.8, El nivel de significancia es de 0.000 (redondeado) que es menor que 0.05, para el interior, se puede rechazar la hipótesis de igual e promedios y concluir que la distribución tiene diferencia significativa en días laborables y no laborables. Mientras que, el nivel de significancia para el ambiente exterior es de 0.523 que es mayor a 0.05 por lo cual no se puede rechazar la hipótesis nula, no hay diferencia significativa en el exterior tanto en días laborables como no laborables.

Tabla 6.8. Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis por día laborable y no laborable.

PRUEBA DE KRUSKAL – WALLIS		
	INTERIOR	EXTERIOR
Chi-cuadrado	367.122	.409
gl	1	1
Sig.	0.000	0.523
DÍA LABORABLE Y NO LABORABLE		

La comparación de las concentraciones de ozono, tanto en el interior como en el exterior durante los meses estudiados se presenta en la figura 6.10. Se observa un registro de datos de las concentraciones de ozono muy dispersas por arriba de la mediana para los dos sitios de muestreo, lo que quiere decir que las concentraciones de ozono, tanto en el interior como en el exterior, permanecieron altas durante todo el tiempo de muestreo. Mientras que por debajo de la media están representadas las concentraciones mínimas que se registraron en los meses de muestreo. Lo que se concluye es que hubo muy pocas ocasiones en que las concentraciones de ozono permanecieron bajas en los diferentes meses de estudio sobre pasando la Norma Oficial Mexicana de la Calidad del Aire para Ozono (NOM-020-SSA1-1993) que establece como límite máximo permisible horario de 110 ppb.

Figura 6.10. Variación de las concentraciones de ozono, durante los meses estudiados, tanto en el interior como en el exterior.



En la tabla 6.9 se muestra el resultado de la prueba no paramétrica de Mann – Whitney para en interior y exterior referente a los meses de estudiados. El nivel de significancia para el interior es de 0.964 que es mayor a 0.05 lo cual se deduce que no hay diferencia significativa para este sitio de muestreo. El ambiente exterior tiene un nivel de significancia de 0.000 (redondeado) que es menor a 0.05 lo cual deduce que se rechaza la hipótesis nula de igual de medias y por lo tanto hay diferencia significativa en el exterior referente a los distintos meses estudiados.

Tabla 6.9. Prueba no paramétrica Mann Whitney por meses de estudio.

PRUEBA DE MANN – WHITNEY		
	INTERIOR	EXTERIOR
U de Mann-Whitney	1614090.000	1446385.000
W de Wilcoxon	3231391.000	3063686.000
Z	-0.046	-5.471
Sig.	0.964	0.000
MESES DE MUESTREO		

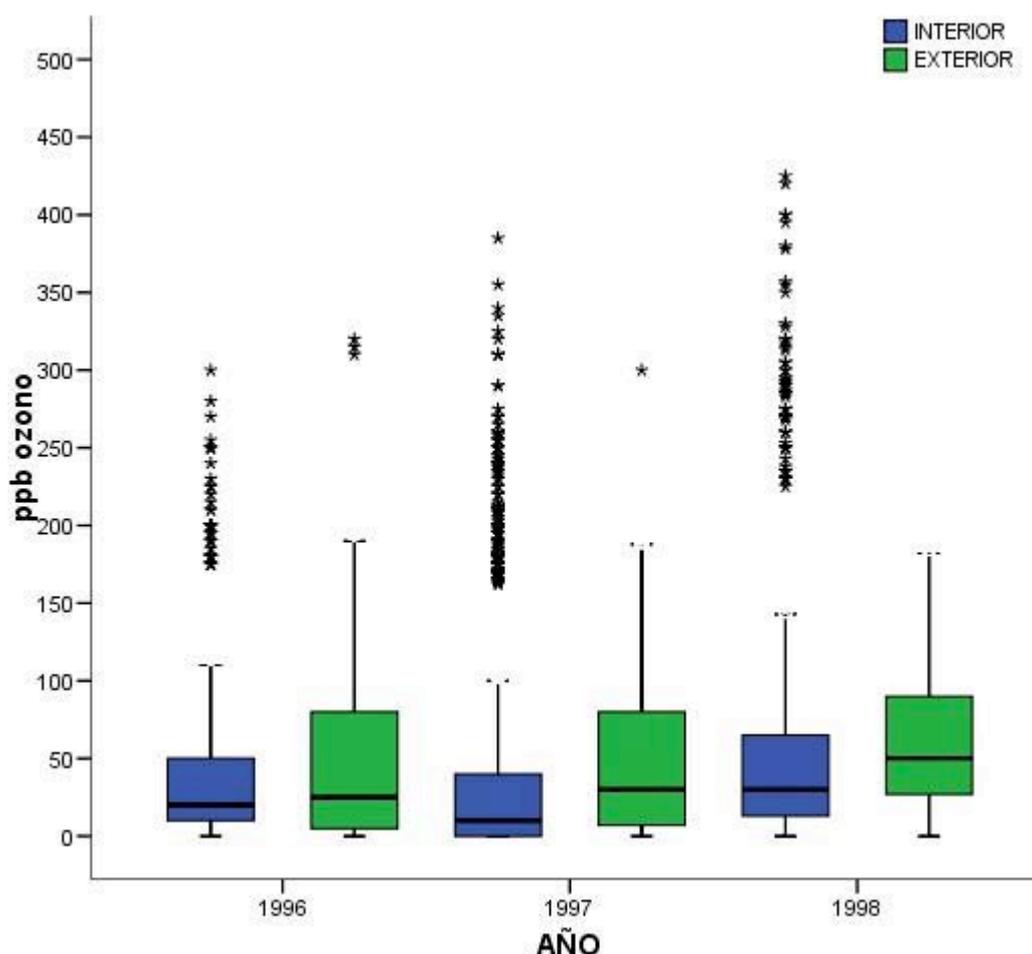
Por medio de la prueba no paramétrica, Kruskal – Wallis, tabla 6.10, el nivel de significancia para los dos sitios de muestreo es de 0.000 (redondeado) que es menor a 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias y concluir que las poblaciones comparadas difieren significativamente.

Tabla 6.10. Prueba no paramétrica Kruskal – Wallis por meses de estudio.

PRUEBA DE KRUSKAL - WALLIS		
	INTERIOR	EXTERIOR
Chi-cuadrado	804.155	420.293
gl	11	11
Sig.	0.000	0.000
MESES DE MUESTREO		

La evolución anual de las concentraciones de ozono se representa en la figura 6.11, se esperaba que las concentraciones de ozono disminuyeran pero, realmente no se nota esa disminución de contaminación durante todo el período comprendido de muestreo sobre el ozono, sino que ocurrió lo contrario; es decir, hubo un aumento de dichas concentraciones para el año de 1996 hasta 1998. Es indudable que en este período de mediciones de las concentraciones de ozono del exterior representaron un riesgo para la salud de la población ya que la concentración máxima promedio que se registro en el período de muestreo fue de 180 ppb sobrepasando la Norma Mexicana de la Calidad del Aire para ozono (NOM-020-SSA1-1993).

Figura 6.11. Proyección anual de las concentraciones de ozono durante el período de muestreo (Agosto 1996 – Febrero 1998).



Para el ambiente interior, por el funcionamiento de la máquina de fotocopiado, siempre hubo variaciones de las concentraciones de ozono, en el gráfico se observa dicha variación. Los niveles máximos de las concentraciones de ozono en el interior que se alcanzaron en el año de 1996, 1997 y 1998 fueron 110, 90 y 148 ppb y, para el exterior fueron 180, 170 y 160 ppb, respectivamente.

Cabe señalar que estas concentraciones de ozono tanto del interior como del exterior siempre se mantuvieron altas ya que en el diagrama de cajas representativo hay muchos registros de datos dispersos de las concentraciones de ozono por arriba de la media, lo cual implica que las concentraciones de ozono estuvieron altas durante el período de muestreo la mayor parte del tiempo.

En la tabla 6.11 se muestra el contenido de la información relacionada con la prueba no paramétrica de Wilcoxon (prueba para dos muestras relacionadas). Ofrece el número, media y suma de los rangos negativos y de los rangos positivos. Las notas al pie de la tabla permiten conocer el significado de los rangos positivos y negativos. También ofrece el número de empates (casos que no son incluidos en el análisis)

Tabla 6.11. Prueba de Wilcoxon. Rangos.

		N	Rango promedio	Suma de rangos
EXTERIOR - INTERIOR	Rangos negativos	3908(a)	6349.24	24812812.00
	Rangos positivos	10570(b)	7568.65	80000669.00
	Empates	1902(c)		
	Total	16380		
a EXT_ppb < INT_ppb				
b EXT_ppb > INT_ppb				
c EXT_ppb = INT_ppb				

En la tabla 6.12 muestra el estadístico de Wilcoxon (W) y su nivel crítico (Sig.), puesto que este valor es de 0.000 (redondeado) es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis de igualdad de medias y concluir que las variables comparadas difieren significativamente.

Tabla 6.12. Prueba no paramétrica Wilcoxon.

PRUEBA DE WILCOXON	
	EXTERIOR - INTERIOR
Z	-54.890 ^(a)
Sig. asintót. (bilateral)	0.000
^a Basado en los rangos negativos.	

En la tabla 6.13 contiene información relacionada con la prueba no paramétrica de los Signos (prueba para dos poblaciones relacionadas), muestra las diferencias negativas, las positivas y los empates. Las notas al pie de la tabla permiten saber qué diferencias se están considerando negativas y cuáles positivas.

Tabla 6.13. Prueba de los Signos. Frecuencias.

		N
EXTERIOR - INTERIOR	Diferencias negativas(a)	3908
	Diferencias positivas(b)	10570
	Empates(c)	1902
	Total	16380
a EXT_ppb < INT_ppb		
b EXT_ppb > INT_ppb		
c EXT_ppb = INT_ppb		

La tabla 6.14 ofrece el estadístico Z de la prueba de los signos y su correspondiente nivel de significancia (Sg.). Puesto que el valor de significancia es de 0.000 (redondeado) es menor que 0.05 podemos rechazar la hipótesis de igualdad de promedios y concluir que las variables comparadas difieren significativamente.

Tabla 6.14. Prueba no paramétrica de los Signos.

PRUEBA DE LOS SIGNOS	
ESTADÍSTICO	EXTERIOR - INTERIOR
Z	-55.359
Sig. asintót. (bilateral)	0.000

En la tabla 6.15 se muestra el resultado de la prueba de Friedman (prueba para varias muestras relacionadas), contiene el número de casos válidos, el estadístico (Chi . cuadrado) e Friedman, sus grados de libertad (gl) y el nivel de significancia (Sig.). Puesto que el valor de significancia es de 0.000 (redondeado) es menor a 0.05, podemos rechazar la hipótesis de igualdad de promedios y concluir que si existe diferencia significativa entre el interior y exterior. En la tabla adjunta se muestra los rangos medios resultantes del proceso de asignación de rangos.

Tabla 6.15. Prueba no paramétrica de Friedman.

PRUEBA DE FRIEDMAN			
N	16380		Rango promedio
Chi-cuadrado	3065.496	INTERIOR	1.30
gl	1	EXTERIOR	1.70
Sig. asintót.	0.000		

La tabla 6.16 contiene la información relacionada con el coeficiente de concordancia W de Kendall (prueba para varias muestras relacionadas), La tabla muestra el número de casos válidos, el valor estadístico de W, su transformación en Chi –cuadrado, sus grados de libertad (gl) y el nivel de significancia (Sig.). Puesto que el nivel de significancia es 0.000 (redondeado) es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula de igualdad de promedios y concluir que entre los dos sitios de muestreo existe diferencia significativa.

Tabla 6.16. Prueba no paramétrica Kendall.

PRUEBA DE KENDALL	
N	16380
W de Kendall(a)	.187
Chi-cuadrado	3065.496
gl	1
Sig. asintót.	0.000

Grupos	Promedio
INTERIOR	1.30
EXTERIOR	1.70

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

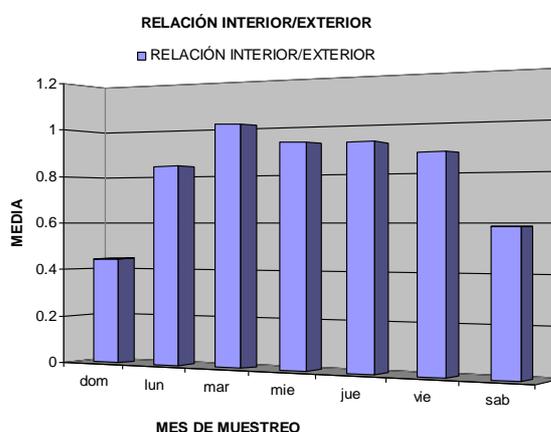
6.3 Relación Interior/Exterior de las concentraciones de ozono.

La relación interior/exterior es un indicador de la posible contribución interior y/o exterior de las concentraciones de ozono. Cuando se cuenta con información durante bastante tiempo habiéndose aplicado una estrategia de control, esta relación también es un indicador de la efectividad de la estrategia.

En la tabla 6.17 se muestra la relación interior/exterior de las concentraciones de ozono así como su gráfico correspondiente referente a los días de la semana y en la tabla 6.18 se muestra la relación interior/exterior referente a los días laborables y no laborables. Cabe señalar que dicha relación es en base a los promedios de las concentraciones de ozono tanto del interior como del exterior contemplando los 19 meses de muestreo para ozono tomando como base al ambiente exterior ya que el se desea conocer que relación existe con el interior.

Tabla 6.17. Relación Interior/Exterior en los diferentes días de la semana.

Relación INTERIOR / EXTERIOR	
Grupo	Media
dom	0.446
lun	0.839
mar	1.009
mie	0.928
jue	0.922
vie	0.876
sab	0.589



La información que proporciona la tabla es que las concentraciones de ozono del interior son semejantes a las concentraciones del exterior excepto durante los días domingo y sábado que son los días de fin de semana y, el día martes las concentraciones del interior como del exterior son iguales. Generalmente, los valores de las concentraciones de ozono en el interior son casi iguales a los del exterior con lo cual no existe una disminución de contaminación por ozono en el interior.

Tabla 6.18. Relación Interior/Exterior en días laborables y no laborables.

Relación INTERIOR / EXTERIOR	
Grupo	Media
Laborable	0.963
No laborable	0.555

Se observa en la tabla que las concentraciones de ozono en el interior son semejantes a las concentraciones del exterior ya que para los días laborables la relación es 0.963, mientras que la relación que existe para los días no laborables es 0.555 indicando que las concentraciones de ozono en el interior disminuyeron considerablemente cuando no hubo actividades.

7 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN INTERIORES.

7.1 *Antecedentes.*

Una de las formas más eficaces de reducir los niveles de concentración de un contaminante en el aire interior es controlar las fuentes de contaminación en el interior del edificio. Entre este tipo de fuentes podemos mencionar los materiales utilizados en la construcción y la decoración, las actividades propias del lugar y algunos contaminantes asociados a los ocupantes como el tabaquismo.

Algunos de estos compuestos se consideran cancerígenos, como el formaldehído, el benceno, algunos plaguicidas, la fibra de vidrio y otros. El regular las emisiones estableciendo normas de emisión es un inicio a considerar.

Se han publicado normas para Europa (COST 613 1991 y 2005) y para Estados Unidos (ASTM 2000). Las críticas planteadas habitualmente contra estas normas se basan en los siguientes aspectos: *a)* la dificultad para obtener datos comparativos, y *b)* los problemas surgidos cuando un espacio de interior tiene fuentes intermitentes de contaminación.

7.2 *Control Ambiental en Interiores.*

➤ *Medidas de control ambiental en interiores.*

La gran variedad de las posibles fuentes de contaminación determina la multiplicidad de las medidas correctivas que pueden tomarse para mantener bajo control esas fuentes. Por consiguiente, en esta fase es importante considerar los diferentes factores que contribuyen a eliminar o minimizar los problemas que pueden surgir en el futuro a causa de la mala calidad del aire. Los factores que es preciso considerar son (Chartered Institution of Building Services, 2004):

- La elección del sitio de construcción;
- El diseño arquitectónico;
- La elección de los materiales de construcción,
- Los sistemas de ventilación y aire acondicionado utilizados para controlar la calidad del aire en interiores.

Elección del sitio de construcción.

La contaminación del aire puede proceder de fuentes que se encuentren cerca o lejos del sitio elegido. Es un tipo de contaminación que incluye, principalmente, gases orgánicos e inorgánicos derivados de la combustión —proveniente de fuentes móviles, industrias— y partículas suspendidas en el aire de origen diverso. Para que la elección del sitio sea la más acertada deberán tenerse en cuenta los aspectos siguientes (Chartered Institution of Building Services, 2004):

1. Datos que muestren los niveles de contaminación ambiental en la zona, como por ejemplo, el tráfico vehicular, contaminación industrial, agrícola, etc.
3. Niveles de contaminación en el suelo y en el agua, entre ellos los compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles, el gas radón y otros compuestos.

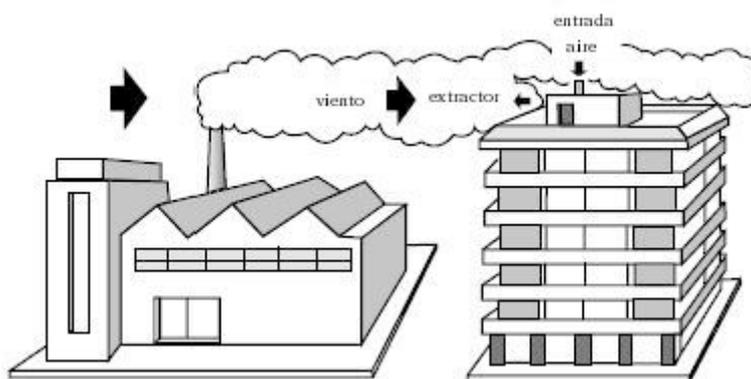
4. Información sobre el clima y la dirección predominante del viento en la zona, así como sobre las variaciones diarias y estacionales. Son aspectos importantes para decidir la orientación más adecuada del edificio.

Diseño arquitectónico.

La integridad del edificio ha sido, durante siglos, un requisito fundamental a la hora de planificar y diseñar un nuevo edificio. A estos efectos, tanto en la actualidad como en el pasado se han tenido en cuenta la capacidad de los materiales para resistir la degradación producida por la humedad, los cambios de temperatura, la circulación del aire, la radiación, la exposición de agentes químicos y biológicos o los desastres naturales (Consejo de la Comunidad Europea (CCE), 1992).

Las estructuras deben quedar alejadas de las fuentes de contaminación y no encontrarse en la dirección predominante del viento (ver figura 7.1).

Figura 7.1. Infiltración de la contaminación del exterior. Fuente: (CCE, 1992).



Se debe tener cuidado en donde se localiza el drenaje y evitar las infiltraciones en los puntos de contacto del edificio con el suelo, en los cimientos, en los lugares donde estén ubicados los conductos y el sistema de desagüe.

El principal medio de control consiste en reducir la humedad de los cimientos del edificio, donde es frecuente que se desarrollen y propaguen microorganismos, especialmente hongos.

Elección de los materiales.

En los próximos años el mercado de los materiales de construcción y decoración será más competitivo y sufrirá una mayor presión legislativa. Con ello se eliminarán algunos productos o se sustituirán por otros que tengan riesgo de emitir contaminantes (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2000).

Los sistemas de ventilación y el control del ambiente en interiores.

El método de control normalmente utilizado para diluir y eliminar los contaminantes de los espacios interiores contaminados es la ventilación; puede realizarse con aire exterior limpio o con aire reciclado y convenientemente depurado.

Es necesario considerar muchas cuestiones diferentes a la hora de diseñar un sistema de ventilación, cabe citar la calidad del aire exterior que se vaya a utilizar; las características y/o propiedades de los contaminantes o de la fuente que los genera; el mantenimiento preventivo del propio sistema de ventilación, que puede ser posible fuente de contaminación, y la distribución del aire dentro del edificio.

En la Tabla 7.1 se resumen las recomendaciones principales en el diseño de un sistema de ventilación necesarias para mantener ambientes interiores de calidad adecuados. En un sistema típico de ventilación/aire acondicionado, el aire que se toma del exterior y que se mezcla con una proporción variable de aire reciclado pasa a través de diferentes sistemas de acondicionamiento del aire, suele filtrarse, calentarse o enfriarse según la estación y se humidifica o deshumidifica en función de las necesidades (Berenguer et. al. 1991).

En las Tablas 7.2 y 7.3 se ilustra cómo algunas de estas medidas, cuya finalidad es mejorar la calidad del aire interior, provocan el fallo de otros elementos de modo que la regulación del ambiente de trabajo puede afectar a la calidad del aire interior (Berenguer et. al. 1991).

En resumen, puede decirse que, en cada caso deberá optimizarse una parte de las condiciones ambientales por medio de un control basado en aspectos de seguridad, salud y economía. Cada persona tiene necesidades diferentes y reacciona de manera distinta a determinadas condiciones por lo cual se buscará proteger o dar un margen de protección adecuado para el bienestar de las personas que estén en ambientes interiores. Es indudable que un compromiso de este tipo entre las diferentes partes aumentará la satisfacción, el bienestar y la productividad.

Tabla 7.1. Requisitos básicos de un sistema de ventilación por dilución. Fuente: (Berenguer et. al. 1991)

Componente o función del sistema.	Requisito.
Dilución por aire exterior.	<p>Debe garantizarse un volumen mínimo de aire por ocupante y por hora.</p> <p>El objetivo debe ser renovar el volumen de aire interior un número mínimo de veces por hora.</p> <p>El volumen de aire exterior suministrado debe aumentarse cuando las emisiones de las fuentes del interior vayan en aumento.</p> <p>Debe garantizarse la extracción directa al exterior en los espacios en los que vayan a realizarse actividades que generen contaminación o minimizar dicha contaminación.</p>
Ubicación de las entradas de aire.	<p>Debe evitarse situar las entradas de aire cerca de fuentes de contaminación conocidas.</p> <p>Deben evitarse zonas próximas a aguas estancadas y a los aerosoles que emanan de las torres de refrigeración.</p> <p>Debe evitarse que entren animales y que las aves se posen o hagan sus nidos cerca de las entradas del sistema de aire acondicionado.</p>
Ubicación de los extractores de aire.	<p>Los extractores deben colocarse lo más lejos posible de las entradas de aire y deberá aumentarse la altura de las salidas de evacuación del aire.</p> <p>Las salidas de evacuación del aire deben orientarse en dirección opuesta a las campanas de entrada de aire.</p>
Filtración y depuración.	<p>Deberán utilizarse filtros de partículas.</p> <p>Es preciso instalar un sistema de eliminación química de contaminantes.</p>
Control microbiológico y químico.	<p>Debe evitarse poner materiales porosos en contacto con corrientes de aire, incluidos los conductos de distribución.</p> <p>Debe evitarse la acumulación de agua estancada cuando se forme condensación en aparatos de aire acondicionado.</p> <p>Deberá establecerse un programa de mantenimiento preventivo, y planificarse la limpieza periódica de los humidificadores y las torres de refrigeración.</p>
Distribución del aire.	<p>Es preciso eliminar y evitar la formación de zonas muertas (donde no hay ventilación) y la estratificación del aire.</p> <p>Es preferible mezclar el aire donde los ocupantes lo respiran.</p>

Tabla 7.2. Medidas de control de la calidad del aire en interiores y sus efectos en los ambientes interiores. Fuente: (Berenguer et. al. 1991).

Tipo de Ambiente.	Acción.	Efecto.
Térmico	Aumento del volumen del aire fresco Reducción de la humedad relativa para evitar el desarrollo de microorganismos de agentes microbiológicos	Aumento de las corrientes de aire
Acústico	Suministro intermitente de aire exterior para conservar la energía	Exposición intermitente al ruido
Visual	Reducción en el uso de luces fluorescentes para reducir la contaminación fotoquímica	Reducción de la eficacia de la iluminación
Psicosocial	Oficinas	Pérdida de intimidad y de espacio de trabajo definido

Tabla 7.3. Ajustes del medio ambiente de trabajo y sus efectos sobre la calidad del aire en interiores. Fuente: (Berenguer et. al. 1991).

Tipo de Ambiente.	Acción.	Efecto.
Térmico	Suministro de aire exterior basado en aspectos térmicos Uso de humidificadores	Volúmenes insuficientes de aire fresco Peligro microbiológico potencial
Acústico	Aumento en el uso de materiales aislantes	Posible liberación de contaminantes
Visual	Sistemas basados exclusivamente en la iluminación artificial	Insatisfacción, mortalidad de las plantas, desarrollo de agentes microbiológicos
Psicosocial	Utilización de equipos en el espacio de trabajo, tales como fotocopiadoras e impresoras	Aumento del nivel de contaminación: ozono, partículas, compuestos orgánicos.

7.2.1 El Aire en Interiores. Métodos de Control y Depuración.

La calidad del aire dentro de un edificio depende de una serie de factores entre los que cabe citar la calidad del aire exterior, el diseño del sistema de ventilación y de aire acondicionado, el funcionamiento y mantenimiento del sistema de ventilación y las fuentes de contaminación interior. En términos generales, el nivel de concentración de un contaminante en un espacio interior está determinado por el equilibrio existente entre la generación del contaminante y su eficiencia de eliminación (Constance, 1990).

Entre las fuentes externas cabe citar la contaminación atmosférica producida por procesos industriales de combustión, el tráfico, las centrales eléctricas y demás; y las emanaciones de suelos contaminados, como el gas radón, las fugas de depósitos de gasolina o los pesticidas.

Entre las fuentes de contaminación interna, merece la pena mencionar las asociadas con los propios sistemas de ventilación y aire acondicionado (principalmente la contaminación microbiológica de cualquier parte de dichos sistemas), los materiales utilizados en la construcción y la decoración del edificio y los ocupantes del edificio. Fuentes específicas de contaminación interior son el humo del tabaco, las fotocopiadoras, los laboratorios en general, los fotográficos en particular, las prensas de imprenta, los gimnasios, los salones de belleza, las cocinas y cafeterías, los cuartos de baño, los aparcamientos y las salas de calderas. Todas deben tener un sistema de ventilación general y el aire extraído de estas zonas no debe volver a utilizarse en el edificio.

Los métodos de control del aire interior pueden dividirse en dos grupos principales: el control de la fuente de contaminación y el control del ambiente mediante estrategias de ventilación y depuración del aire (Billings, 1993):

➤ Control de la fuente de contaminación.

La fuente de contaminación puede controlarse por varios medios, entre los que cabe citar (Billings, 1993):

1. *Eliminación.* Se aplica cuando se conoce la fuente de la contaminación, como en el caso del humo del tabaco, y no precisa la sustitución del agente en cuestión.

2. *Sustitución.* En algunos casos hay que sustituir el producto que origina la contaminación. A veces es posible cambiar los productos utilizados (para limpieza, decoración, etc.) por otros que presten el mismo servicio pero que sean menos tóxicos.

3. *Aislamiento.* El objeto de estas medidas es reducir la exposición limitando el acceso a la fuente. Es un método por el que se interponen barreras (parciales o totales) o medidas de contención alrededor de la fuente de contaminación para minimizar las emisiones al aire circundante y limitar el acceso de personas a la zona próxima a la fuente de contaminación. Ejemplos de este enfoque son los hornos cerrados, las salas de calderas y las salas de fotocopiadoras.

4. *Sellado de la fuente.* En este método se utilizan materiales y/o productos que eviten o minimicen la emisión de contaminación.

5. *Ventilación por extracción localizada.* Los sistemas de ventilación localizados funcionan capturando el contaminante en la propia fuente.

➤ Control del ambiente interior.

Los ambientes interiores de edificios no industriales suelen tener muchas fuentes de contaminación que, además, tienden a estar dispersas. El sistema más empleado para corregir o prevenir los problemas de contaminación en interiores es, por consiguiente, la ventilación, ya sea general o de dilución. Lo que se hace es mover y dirigir el flujo de aire para capturar, retener y transportar los contaminantes desde su fuente hasta el sistema de ventilación (Bethe, 1990).

Para que un sistema de ventilación sea lo más eficaz posible, es conveniente instalar extractores localizados en las fuentes de contaminación; el aire mezclado con contaminación no deberá volver a utilizarse; los ocupantes deberán situarse junto a los difusores de aire y las fuentes de contaminación junto a los extractores; los contaminantes deberán expulsarse por la vía más corta posible.

➤ Técnicas de depuración de aire.

Es conveniente elegir y diseñar con precisión los métodos de depuración del aire para cada tipo concreto de contaminante. Una vez instalado, el mantenimiento periódico evitará que el propio sistema se convierta en una nueva fuente de contaminación. A continuación se describen seis métodos empleados para eliminar contaminantes del aire (Rollos, 1993):

Filtración de partículas.

La filtración es un método útil para eliminar sólidos en suspensión y aerosoles, pero hay que tener en cuenta que no elimina gases ni vapores. Los filtros pueden capturar aerosoles, partículas por obstrucción, impacto, intercepción, difusión y atracción electrostática. La filtración en un sistema de aire acondicionado es necesaria por muchas razones. Una de ellas es evitar la acumulación de suciedad que pueda reducir la eficacia del intercambio de calor. El sistema también puede sufrir corrosión a causa de ciertas partículas (ácido sulfúrico y cloruros) (Liu et. al., 1991).

Precipitación electrostática.

Se trata de un método útil para controlar partículas. Los equipos de esta clase funcionan ionizando las partículas y eliminándolas después de la corriente de aire por medio de un electrodo acumulador que las atrae y captura. La ionización se produce cuando el efluente contaminado pasa por el campo eléctrico generado por una alta tensión aplicada entre los electrodos de acumulación y descarga (Heinsohn, 1991).

La principal ventaja de estos dispositivos es que son muy eficaces para colectar sólidos, incluso cuando las partículas son muy finas. Además, estos sistemas pueden utilizarse con grandes volúmenes y a altas temperaturas. La pérdida de presión es mínima.

Generación de iones negativos.

Es un método utilizado para eliminar partículas suspendidas en el aire y, para crear ambientes más saludables. Todavía se está estudiando la eficacia de este método como medio para reducir malestares o enfermedades (Hawkins, 1990).

Adsorción de gases.

Es un método utilizado para eliminar gases y vapores contaminantes, como el formaldehído, el dióxido de azufre, el ozono, los óxidos de nitrógeno y los vapores orgánicos. La adsorción es un fenómeno físico por el que las moléculas de gas quedan atrapadas en un material adsorbente sólido y poroso, de superficie muy extensa. Para eliminar este tipo de contaminante se hace pasar el aire a través de un cartucho lleno

del material adsorbente. El material más utilizado es el carbón activado, que atrapa una gran variedad de gases inorgánicos y compuestos orgánicos (Bethe, 1990).

Absorción de gases.

Para eliminar gases y vapores por absorción se utiliza un sistema que fija las moléculas haciéndolas pasar a través de una solución absorbente con la que reaccionan químicamente. Es un método muy selectivo y utiliza reactivos específicos para el contaminante que se quiere capturar (Bethe, 1990).

Como el sistema se basa en que el contaminante pase del estado gaseoso al líquido, las propiedades físicas y químicas del mismo son muy importantes: su solubilidad y reactividad, el pH, la temperatura y la superficie de contacto entre el gas y el líquido.

Ozonización.

Es un método de mejora de la calidad del aire en interiores que se basa en el uso del gas ozono. El ozono se genera a partir del oxígeno por radiación ultravioleta o descarga eléctrica y se emplea para eliminar contaminantes dispersos en el aire. El gran poder oxidante de este gas lo hace adecuado como agente antimicrobiano, desodorante y desinfectante y apto para eliminar gases y vapores nocivos. También se emplea para purificar espacios con altas concentraciones de monóxido de carbono. En ámbitos industriales se utiliza para tratar el aire de cocinas, cafeterías, plantas de elaboración de alimentos y pescado, plantas químicas, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de transformación del caucho, plantas de refrigeración, etcétera. En oficinas, se utiliza con instalaciones de aire acondicionado para mejorar la calidad del aire (Health and Safety Executive, 2004).

7.2.2 Objetivos y principios de la ventilación general y de la ventilación de dilución.

Su utilización implica la aceptación de que el contaminante se distribuya en cierta medida por todo el lugar de trabajo y pueda por tanto afectar a los trabajadores que estén lejos de la fuente de contaminación. Uno de los objetivos básicos de cualquier sistema de ventilación general es el control de los olores corporales, y es posible lograrlo suministrando aire fresco por ocupante. Si se fuma con frecuencia o el trabajo requiere un intenso esfuerzo físico, será preciso aumentar la ventilación (CCE 1992), o bien no permitir fumar.

Si los únicos problemas ambientales que debe resolver el sistema de ventilación son los que acabamos de describir, es conveniente tener en cuenta que cada recinto tiene cierto nivel de renovación de aire "natural" por medio de la llamada "infiltración", que se produce a través de puertas y ventanas, incluso estando cerradas, y a través de otros puntos de penetración de las paredes.

Si se utiliza para controlar contaminantes químicos, la ventilación general deberá limitarse exclusivamente a aquellas situaciones en las que no se generen grandes cantidades de contaminantes y sean de toxicidad relativamente moderada, y en las que los trabajadores no realicen sus actividades cerca de la fuente de contaminación. Si no se respetan estas condiciones, será difícil conseguir un control adecuado del ambiente de trabajo ya que las tasas de renovación de aire tendrán que ser tan altas que la velocidad del aire creará malestar, además de que mantener unas tasas de renovación tan altas resulta caro (CCE 1992).

Aunque las expresiones *ventilación general* y *ventilación por dilución* se han considerado sinónimas durante muchos años, en la actualidad ya no es así, debido a una nueva estrategia de ventilación general: la *ventilación por desplazamiento* (Heinsohn, 1991).

La *ventilación por dilución* tiene por objeto mezclar al máximo el aire que se introduce mecánicamente con todo el aire ya existente, de modo que la concentración de un determinado contaminante sea lo más uniforme posible en todo el espacio (o de modo que la temperatura sea lo más uniforme posible, si lo que se pretende conseguir es el control térmico). Para conseguir la uniformidad, se inyectan corrientes de aire desde el techo a velocidad relativamente alta, para generar una fuerte circulación del aire. El resultado es un alto grado de mezcla del aire fresco con el aire ya presente en el espacio en cuestión (Heinsohn, 1991).

La *ventilación por desplazamiento*, debería ser, en teoría, la inyección de aire en un recinto de manera que el aire fresco desplace el aire anteriormente existente sin mezclarse con él. La ventilación por desplazamiento se consigue inyectando aire fresco lentamente y cerca del suelo y realizando la extracción de aire cerca del techo. El uso de este tipo de ventilación para controlar el ambiente térmico tiene la ventaja de que aprovecha el movimiento natural del aire generado por variaciones de densidad provocadas, a su vez, por diferencias de temperatura (Heinsohn, 1991).

7.2.3 Criterios de ventilación para edificios no industriales.

Una de las funciones principales de un edificio en el que se realizan actividades no industriales (oficinas, colegios, viviendas, etc.) es proporcionar a los ocupantes un ambiente saludable y confortable para trabajar. La calidad de este ambiente depende, en gran medida, del correcto diseño, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del edificio. Por consiguiente, estos sistemas deben crear condiciones térmicas aceptables (temperatura y humedad) y una calidad del aire interior también aceptable. En otras palabras: conseguir una mezcla adecuada de aire exterior con aire interior y emplear sistemas de filtrado y depuración capaces de eliminar los contaminantes del ambiente interior.

7.2.4 Sistema de Calefacción y Aire Acondicionado.

Las necesidades de una persona en relación con la calefacción dependerán de muchos factores, que pueden clasificarse en dos grupos principales: los relacionados con el entorno y los relacionados con factores humanos. Entre los primeros podríamos citar la geografía (altitud y latitud), el clima, el tipo de exposición que conlleva el espacio en el que se encuentra la persona, o las barreras que protegen a dicho espacio del ambiente exterior, etc. Entre los segundos se encuentran el consumo de energía por parte del trabajador, el ritmo de trabajo o la cantidad de esfuerzo necesario para realizarlo, la ropa o las prendas utilizadas contra el frío y los gustos o preferencias personales (Rolloos, 1993).

La necesidad de calefacción es estacional en muchas regiones, pero esto no significa que pueda prescindirse de la calefacción durante la estación fría. El frío afecta a la salud, al rendimiento físico y mental, a la precisión y, ocasionalmente, puede aumentar el riesgo de accidentes. El objetivo de un sistema de calefacción es mantener condiciones térmicas agradables que eviten o minimicen los efectos perjudiciales para la salud.

Los sistemas de calefacción requieren mecanismos de control muy precisos, especialmente en aquellos casos en los que los trabajadores realizan sus actividades sentados o en una posición fija que no estimula la circulación de la sangre hasta sus extremidades.

Propiedades del Aire Húmedo.

A la hora de planificar un sistema de aire acondicionado, es preciso tener en cuenta tres elementos: el estado termodinámico del aire en el recinto, del aire exterior y del aire que se suministrará a la habitación. La elección de un sistema capaz de transformar las propiedades termodinámicas del aire suministrado al interior se basará en las cargas térmicas de cada componente. Así pues, necesitamos conocer las propiedades termodinámicas del aire húmedo, que son las siguientes (Heinsohn, 1991):

T_{dbt} = temperatura del bulbo seco, medida con un termómetro aislado de radiaciones de calor.

T_{dpt} = temperatura del punto de rocío, o temperatura a la que el aire seco no saturado alcanza el punto de saturación.

W = relación de humedad que varía desde cero, para el aire seco, hasta W_s , para el aire saturado, expresado en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

HR = humedad relativa.

t^* = temperatura termodinámica del bulbo húmedo.

v = volumen específico del aire y del vapor de agua (expresado en unidades de m^3/kg). Es el valor recíproco de la densidad.

H = entalpía, kcal/kg de aire seco con el vapor de agua asociado.

De las variables citadas, sólo tres son directamente cuantificables: la temperatura del bulbo seco, la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa. Existe una cuarta variable que puede cuantificarse experimentalmente, y se define como la temperatura del bulbo húmedo.

Diagrama Psicrométrico.

Las propiedades definidas en la sección anterior tienen una relación funcional y pueden representarse de forma gráfica en un diagrama psicrométrico, que es un gráfico simplificado obtenido a partir de las tablas de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (ASHRAE). Las coordenadas del diagrama representan la entalpía y el grado de humedad; las líneas dibujadas representan las temperaturas de termómetro seco y húmedo, la humedad relativa y el volumen específico. Conociendo dos de las variables antes citadas es posible obtener todas las propiedades del aire húmedo a partir de este diagrama (Heinsohn, 1991).

Zona de Confort Térmico en un Diagrama Psicrométrico.

La zona del diagrama psicrométrico correspondiente a las condiciones en las que un adulto percibe el confort térmico ha sido estudiado atentamente y definido en la norma de la ASHRAE a partir de la temperatura efectiva o temperatura medida con un termómetro seco en un recinto uniforme con un 50 por ciento de humedad relativa (Folkins et. al. 2006).

7.3 Acciones para prevenir y controlar la contaminación en interiores.

Hay veces en que no es posible evitar las emisiones de ciertas fuentes de contaminación, como en el caso de las emisiones debidas a los ocupantes del edificio. Entre ellas se incluyen el dióxido de carbono, la presencia de materiales con propiedades no controladas de ninguna manera o la realización de las tareas diarias. En estos casos, una forma de reducir los niveles de contaminación es a través de sistemas de ventilación y otros medios utilizados para limpiar el aire interior, o bien eliminar los materiales no deseables.

La ventilación es una de las opciones en las que más se confía para reducir la concentración de contaminantes en espacios interiores. Claro está que la necesidad de ahorrar energía también requiere que la entrada de aire exterior para renovar el aire interior sea lo menor posible. Existen patrones a este respecto que especifican velocidades de ventilación mínima, basadas en la renovación del volumen de aire interior por hora con aire del exterior, o que establecen una contribución mínima de aire por ocupante o unidad de espacio, o que tienen en cuenta la concentración de dióxido de carbono considerando las diferencias entre los espacios con y sin fumadores.

Los patrones existentes, tanto nacionales como internacionales —aunque no exista legislación— se encuentran las normas publicadas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE).

En la norma 62-2005 de la ASHRAE (ASHRAE 2005), se especifican las cantidades mínimas de aire necesarias para ventilar un edificio, así como la calidad del aire interior aceptable para sus ocupantes con el fin de prevenir efectos adversos sobre la salud.

En los casos en los que las fuentes de contaminación que impactan en el ambiente interior se encuentran en el exterior, la calidad del aire en el interior no es fácil de mejorar ya que las fuentes no están bajo el control de los responsables o dueños del edificio. En estos casos es necesario utilizar un sistema para evitar o reducir la entrada de contaminantes del exterior.

Es posible establecer algunos de los valores de concentración de referencia aplicables al aire interior en función del tipo de población a la que es necesario proteger. Los valores pueden basarse en normas de calidad para el aire ambiente, con valores específicos para la concentración de contaminantes atmosféricos como: bióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldehído, compuestos orgánicos volátiles, radón, ozono, etc., o pueden basarse en normas utilizadas generalmente en higiene ocupacional, los cuales deben aplicarse exclusivamente para el medio ambiente industrial. Las normas del trabajo en higiene industrial están diseñadas, sobre todo, para proteger a los trabajadores de los efectos agudos de los contaminantes (como irritación de las mucosas o de las vías respiratorias altas), o para prevenir alguna intoxicación. A menudo se utilizan como referencia los valores límite de exposición para ambientes industriales establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) de Estados Unidos.

Tales límites se denominan *valores límite umbral* (TLV), e incluyen valores límite para días de trabajo de ocho horas y semanas de trabajo de cuarenta horas.

Los niveles de concentración en ambientes industriales se controlan para asegurar el cumplimiento de las normas establecidas, algo que no se realiza en ambientes no industriales. Por consiguiente, es posible que en este tipo de ambientes (no industriales) el uso esporádico de algunos productos pueda producir concentraciones elevadas de uno o varios compuestos, sin ningún control ambiental y sin forma de detectar los niveles de exposición que se han producido. Los trabajadores afectados en industrias están informados y disponen de los medios para reducir el riesgo y protegerse. Además, los trabajadores de la industria suelen ser adultos con un buen estado de salud y un estado físico aceptable, mientras que la población de los ambientes interiores no industriales presenta en general, una variedad más amplia del estado de salud de sus ocupantes. El trabajo normal en una oficina, por ejemplo, puede ser realizado por personas con limitaciones físicas o susceptibles a reacciones alérgicas que no podrían trabajar en ciertos ambientes industriales.

Con respecto a los contaminantes biológicos, existen criterios técnicos para su evaluación que puedan ser aplicables al ambiente industrial o a espacios interiores. Los contaminantes biológicos muestran una amplia variabilidad de características que dificultan el establecimiento de criterios para su evaluación generalizados y validados para una situación concreta. Entre las características se incluyen la capacidad reproductiva del organismo en cuestión, el hecho de que la misma especie microbiana puede presentar varios grados de patogenicidad o el hecho de que las alteraciones en factores ambientales como la temperatura y la humedad pueden influir en su presencia en un medio ambiente determinado.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Conclusiones.

Generalmente, las concentraciones de ozono en el exterior del sitio estudiado resultaron ser más altas que en el interior. Aunque en algunas ocasiones el interior fue más alto que el exterior considerando la hora de muestreo lo cual se debe a la contribución tanto del exterior como del interior.

La Norma Oficial Mexicana de Calidad del Aire para Ozono (NOM-020-SSA1-1993) establece 110 ppb promedio horario, para no ser rebasado una vez al año, dicho valor se sobrepasó durante la mayor parte del período de muestreo por más de una hora para los dos sitios de muestreo (interior – exterior).

El número de violaciones a la Norma Mexicana de Calidad del Aire (NMCA) para ozono durante la campaña de monitoreo (19 meses) fue de 1,449 horas para el exterior y 420 horas para el interior.

Se deben aplicar estrategias de control adecuadas ya que en los dos sitios de muestreo se confirma, mediante el análisis estadístico, las concentraciones de ozono del interior y exterior están por arriba del valor límite máximo de 110 ppb, 1 hora una vez al año. Relacionado a este hecho, existe diferencia significativa para los dos sitios de muestreo lo cual indica que se deben de proponer estrategias de control para reducir al máximo las concentraciones de ozono ó controlar la fuente emisora en el interior.

Si consideramos el comportamiento horario de las concentraciones de ozono en el área de fotocopiado se observa que aumentan a lo largo del día. En las figuras 6.1 y 6.2 se observa esta tendencia, aproximadamente entre las 11:00 y 15:00 las concentraciones promedio de ozono van en aumento alcanzando un valor máximo y es entonces cuando comienzan a disminuir. Este hecho se debe al horario de operación de la máquina de fotocopiado.

A pesar de que las concentraciones de ozono en el interior disminuyen los fines de semana (sábado y domingo), que son los días en donde la máquina de fotocopiado no opera, se observan concentraciones de ozono, aunque en menor cantidad que los días laborables, posiblemente producto de la infiltración de la calidad del aire del exterior.

La variación de las concentraciones promedio de ozono tanto en días laborables como los no laborables si presentó una diferencia significativa entre los dos sitios de muestreo (interior – exterior), lo que sucede en el interior es que en días laborables las concentraciones promedio de ozono son más altas que en los días no laborables como se esperaba. Por otro lado, en el exterior las concentraciones promedio de ozono generalmente son iguales, no cambio el ambiente exterior, en la figura 7.9 se puede observar este comportamiento.

En relación al ambiente exterior (figura 7.11), se observa que las concentraciones promedio de ozono fueron en aumento, lo que indica que se debe optar por mejorar la calidad del aire en el ambiente exterior. En este gráfico que contempla la variación anual del las concentraciones de ozono se observó que no hubo tal mejoría sino que ocurrió lo contrario para el exterior.

A diferencia de la actividad de fotocopiado en países desarrollados en donde la exposición de personal es mínimo, en países en vías de desarrollo las personas dedicadas a este oficio presentan períodos de exposición de 8 horas o mayores, por lo cual esta situación deberá ser tomada en cuenta en el establecimiento de medida de prevención y control.

8.2 Recomendaciones.

Debe de existir una normatividad sobre la calidad del aire en interiores que conlleve los siguientes factores:

1. Una lista de sustancias que deben prohibirse o regularse, tanto en la construcción como en el mantenimiento de edificios.
2. Normas de calidad aplicables a los diferentes tipos de ambientes de interior.
3. Protocolos de procedimiento para la gestión y mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y ventilación.
4. Normas mínimas para el mantenimiento de edificios abiertos al público.

Muchos compuestos químicos tienen olores y efectos irritantes a concentraciones que no son peligrosas para los ocupantes de un edificio pero que pueden ser percibidos por un gran número de personas, y que por lo tanto, pueden resultar molestas.

Considerando el hecho de que no se recomienda el uso de normas de higiene ocupacional para evaluar la calidad del aire en ambientes no industriales, en muchos casos es mejor utilizar los valores de referencia considerados en las normas de calidad del aire ambiente.

El futuro establecimiento de valores de referencia como normas de calidad del aire en ambientes interiores está determinado por el desarrollo de políticas ambientales. Ello dependerá de los avances del conocimiento en cuanto a los efectos de los contaminantes y del avance técnico – científico en las metodologías para su evaluación.

Se deben de llevar a cabo estudios epidemiológicos con operadores de máquinas fotocopadoras, para conocer los efectos de la exposición de ozono, quizá partículas en este tipo de ambiente.

Instalar sistemas de extracción para incrementar los cambios de aire en el área de fotocopiado. Así como realizar el mantenimiento de la máquina de fotocopiado.

Al suspender las actividades de fotocopiado es de esperarse que no se presenten niveles de ozono en el interior del sitio destinado para esta actividad, siempre y cuando no exista otra fuente de este contaminante o bien infiltración del aire exterior.

Para el caso de estudio, el aire proveniente del exterior presenta niveles importantes de ozono, por lo cual se propone realizar el experimento en un sitio con una calidad del aire libre o con bajos niveles de ozono, y de esta manera determinar la influencia en la calidad del aire interior por ozono debida solamente a la actividad de fotocopiado.

9 BIBLIOGRAFIA.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 2006. *Guidelines for the Assessment of Bioaerosols in the Indoor Environment*. Cincinnati, Ohio: ACGIH.

ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2006. *Industrial Ventilation—A Manual of Recommended Practice*. Cincinnati, Ohio: ACGIH.

AESPW. "Indoor Air Quality Test Kit", User Manual. Building Performance Division Technology. Architectural & Engineering Services Public Works. Canadá. Feb, 2004.

Allen, R. J., R. A. Wadden, and E. D. Ross. 1990. Characterization of potential indoor sources of ozone.

American Industrial Hygiene Association Journal, 39. University of Illinois School of Public Health. 2005.

ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. 2006. *Method of Testing Air Cleaner Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter*. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE. "Handbook of Fundamentals". American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc. 2005.

ASTM American Society for Testing Materials. 2000. *Standard Guide for Small-Scale Environmental Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/ Products*. Atlanta: ASTM.

Baturin, VV. 1980. *Fundamentals of Industrial Ventilation* Nueva York: Pergamon.

Bedford, T, FA Chrenko. 1985. *Basic Principles of Ventilation and Heating*. Londres: HK Lewis.

Berenguer, MJ, X Guardino, A Hernández, MC Martí, C Nogareda, MD Solé. 2002. *El síndrome del edificio enfermo. Guía para su evaluación*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Berenguer, MJ. 1991. *Síndrome del edificio enfermo: Factores de riesgo*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Bethe, RM. 1990. *Air Pollution Control Technology*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.

Billings, CE. 1993. Methods for indoor air quality. *Environ Int* 8:497-504.

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.

Bravo A. H., Sosa E. R., Sánchez A. P., Lagos Ch. C. Ozone indoor/outdoor air quality study of photocopying machines area at the University of Mexico. Paper 69-12.5. 96th Annual conference & Exhibition. A&WMA. June 22-26, 2003. San Diego California.

-
- Bravo A. H., Sosa E. R., Sánchez A. P., Jaimes P. M., Allen S. L. The "Piston Effect" Observed in ozone concentrations in Mexico City. August 2003.
- Brooks, B. O., and W. F. Davis. 1991. *Understanding Indoor Air Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Brunnemann, KD D Hoffmann. 1991. The pH of tobacco smoke. *Food Cosmet Toxicol* 12:115-124.
- C. Weimer Richard. *Estadística*. Continental México 2003.
- Cain, WS et al. 1983. Ventilation requirements in buildings: Control of occupancy odor and tobacco smoke odor. *Atmos Environ* 17(6):1187-1197.
- Canon, Inc., 1990. *Fundamentals of Copier Technology*. Japan.
- CCE. Consejo de la Comunidad Europea. 1992. *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings*. Luxemburgo: CE.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *CONCIENCIA CIUDADANA Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: ESTADO DE SITUACIÓN (MÉXICO)*, 2005.
- Chartered Institution of Building Services. 2004. *Environmental Criteria for Design*: Chartered Institution of Building Services.
- Colbeck, I., *Sci.Prog.*, Oxf. 72, 201-226, 2001.
- Constance, JD. 1990. *Controlling In-Plant Airborne Contaminants. System Design and Calculations*. Nueva York: Mercel Dekker.
- Construction Research Corporation, Ltd. 2000.
- COST 613. 2005. Formaldehyde emissions from wood based materials: Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers. En *Indoor Air Quality & Its Impact On Man*. Luxemburgo: CE.
- Cox B.G., Mage D.T., Inmerman JF.W., "Sample Desing Considerations for Indoor Air Exposure Surveys". *Journal of the Air Pollution Control Association*. 38: 1266-1270 (1990).
- Dudney, CS, ED Copenhaver. 1990. The elements of indoor air quality. En *Indoor Air Quality*, dirigido por PJ Walsh, CS Dudney, ED Copenhaver. Boca
- Eggert, T., A. Grove, and I. Drabaek. 1990. Emission of Ozone and Dust from Laserprinters. Presentation of a New Emission Source Test Method, Proceedings of 1990 EPA/AWMA International Symposium on Measurement of Toxic and Related Air Pollutants. Raleigh, NC, EPA-600/9-90-026 (NTIS PB91-120279).
- Environmental Research*, 2005; 43: 215 – 312
- Etkin, D. S. 1995. Office furnishings/equipment & IAQ: health impacts, prevention & mitigation. *Indoor Air Quality Update*. Cutter Information Corp., Arlington, MA.

-
- Folkins, I., Brasseur, G., Chem. & Phys. 294-297, 20 April, 2006.
- Fondo Sueco para el Ambiente de Trabajo. 2005. *To Measure or to Take Direct Remedial Action? Investigation and Measurement Strategies in the Working Environment*. Estocolmo: Arbetsmiljöfonden [Fondo Sueco para el Ambiente de Trabajo].
- Freixa, A. 2006. *Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Godish, T. 1990. *Indoor Air Pollution Control*. Chelsea. pp.: 2-20, 175-235.
- Greenfield, E. J. 1990. *House Dangerous: Indoor Pollutants in Your Home and Office*. Vintage Books, New York, NY. Pp. 234.
- Guardino, X. 1991. *Toma de muestra de gases y vapores con bolsa. Norma general*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Guerin, MR, RA Jenkins, BA Tomkins. 2001. *The Chemistry of Environmental Tobacco Smoke*. Chelsea, Mich: Lewis.
- Hansen, Shirley J. Managing Indoor Air Quality. The Fairmont Press. Inc., pp.: 13-20, 67-75. 2000.
- Hannsen, T. B., and B. Andersen, 1990. Ozone and other pollutants for photocopying machines. *American Industrial Hygiene Association Journal*, pp. 659-665.
- Hawkins, LH. 1990. Air ions and office health. *Occup Health* 34(3):116-124.
- Hawtorne A., Matthews T., Vo-Dinh T., "Measurements Techniques". *Indoor Air Quality*. P. Walsh, Ch. Dudley, E. Copenhaver Editors. CRC Press. Inc. 10th Printing 2005.
- Health and Safety Executive. 2004. *Ozone: Health Hazards and Precautionary Measures*. : Health and Safety Executive.
- Heinsohn, RJ. 1991. *Industrial Ventilation. Engineering Principles*. Nueva York: Wiley.
- Hilt, B, S Langard, A Anderson, J Rosenberg. 1985. Asbestos exposure, smoking habits and cancer incidence among production and maintenance workers in an electrical plant. *Am J Ind Med* 8:565-577.
- Hoffmann, D, EL Wynder. 1976. Smoking and occupational cancer. *Prevent Med* 5:245-261.
- Hoffmann, D, SS Hecht. 1990. Advances in tobacco carcinogenesis. En *Handbook of Experimental Pharmacology*, dirigido por CS Cooper y PL Grover. Nueva York: Springer.
- IARC Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer 2006. *Tobacco Smoking*. Vol. 38. Lyon: IARC.
- IARC Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer. 2006. *Indoor Air, Environmental Carcinogens. Methods of Analysis and Exposure Measurement*. Vol. 14. Lyon: IARC.
-

INE, Instituto Nacional de Ecología, DDF. (2000). Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000. México.

INEGI, Secretaría del Medio Ambiente-GDF (2006), *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2006*, México.

Kay, Jack G. Indoor Air Pollution, pp.: 62-71. 1993. Lewis Publisher.

Knoppel, H, P Wolkoff. 1992. *Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality—State of the Art in SBS*. Dordrecht: Kluwer Academic.

La Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México. 1986 – 2006. Informe del estado y tendencias de la contaminación atmosférica. México 2007.

Lewis R.G. "Development and Evaluation of Instrumentation for Measurement of Indoor Air Quality". Proceedinga of the 8th World Clean Air Congress. Tha Hague, The Netherlands, 11-15 September 1990. Volume 1. Elsevier Science Publishers. B.V. 311-316.

Lewis T.G., Wallace L. "Workshop: Instrumentation and Methods for Measurement of Indoor Air Quality and Realted 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, 2005, pp. 225-238.

Lewis, RG, L Wallace. 1990. Workshop: Instrumentation and methods for measurement of indoor air quality and related factors. En *Design and Protocol for Monitoring Indoor Air Quality*, dirigido por NL Nageda y JP Harper. Filadelfia: American Society for Testing Materials (ASTM).

Liu, RT, RR Raber, HHS Yu. 1991. Filter selection on an engineering basis. *Heating/Piping/Air- Conditioning* 63(5):37-44.

Luceri, G, G Peiraccini, G Moneti, P Dolara. 1993. Primary aromatic amines from sidestream cigarette smoke are common contaminants of indoor air. *Toxicol Ind Health* 9:405-413.

Marioni M., Seifert. B., Lindvall. T. Indoor Air Quality. A comprehensive reference book. ELSEVIER. 1995. pp.: 27-28, 139-150, 193-198.

Masahiro H., Takashi T., Koichi I., Takeiro T. "Air Quality Indication Factors in Office and Its Monitoring". Precedings of the 5th International Conference on Indoor Air and Climate Toronto, Canadá. 29 July-3 August 1990. Volume 4, 27-32. Mich: Lewis.

Masi, MA y cols. 1990. Environmental exposure to tobacco smoke and lung function in young adults. *Am Rev Respir Dis* 138:296-299.

Medina, E, R Medina, AM Kaempffer. 1992. Effects of domestic smoking on the frequency of infantile respiratory diseases. *Rev Chilena Pediatrica* 59:60-64.

Miller, JD. 1993. Fungi and the building engineer. *Environments for People: IAQ '92*. Atlanta: ASHRAE.

Morawka L. Indoor Air. An integrated Aproach, pp.: chapter 4. 1995. ELSEVIER.

- Morey, PR, JC Feeley. 1990. The landlord, tenant, and investigator: Their needs, concerns, and viewpoints. En *Biological Contaminants in Indoor Environments*, dirigido por JC Feeley y JA Otten. Filadelfia: American Society for Testing Materials.
- Nageda, NL, HE Rector, MD Koontz. 1990. *Guidelines for Monitoring Indoor Air Quality*. Washington, DC: Hemisphere.
- Namiesnik, J, T Gorecki, B Kosdron-Zabiegala, J Lukasiak. 1992. Indoor air quality, pollutants, their sources and concentration levels. *Build Environ* 27(3):339-356.
- Nathanson, T. 2000. *Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide*. Ottawa: Health Canada.
- NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. 2006. *Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- NIOSH. National Institute of Occupational Safety and Health. 2006. Indoor Air Quality and Work Environment Study, Library of Congress, Madison Building, Health Hazard Evaluation Report, HETA 88-364-2104. Washington, DC.
- OIT. Organización Internacional del Trabajo. 2000. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, dirigido por L Parmeggiani. 3ª ed. Ginebra: OIT.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 1992. *Air Quality Guidelines for Europe*. European Series, No 23. Copenhague: Publicaciones Regionales de la OMS.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 2000. *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. Copenhague: Oficina Regional de la OMS para Europa.
- Otson, R, P Fellin. 1992. Volatile organics in the indoor environment: Sources and occurrence. En *Gaseous Pollutants: Characterisation and Cycling*, dirigido por J Nriagu. Nueva York: Wiley.
- Philip and Penny. *Using Statistics to Understand the Environment*. ROUTLEDGE. London and New York. 2000.
- PNUMA. Naciones Unidas. 2005. *Radiation Doses, Effects, Risks*. Nairobi, Kenya. Pollutants, their sources and concentration levels. *Build Environ* 27(3):345-366.
- Public Health Rep. 2006; 113: 410 – 421
- Rafferty, PJ, PJ Quinlan. 1990. The practitioner's guide to indoor air quality. En *The Practitioner's Approach to Indoor Air Quality Investigations*, dirigido por DM Weekes y RB Gammage. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association (AIHA).Raton: CRC Press.
- Richard C. Weimer. ESTADÍSTICA. Sexta impresión. COmpañía Editorial Continental. México 2005.
- Riedel, F, C Bretthauer, CHL Rieger. 1990. Einfluss von paasivem Rauchen auf die bronchiale Reaktivitact bei Schulkindern. *Prax Pneumol* 43:164-168.
- Rolloos, M. 1993. HVAC systems and indoor air quality. *Indoor Environ* 2:204-212.

-
- Saccomanno, G, GC Huth, O Auerbach. 1990. Relationship of radioactive radon daughters and cigarette smoking in genesis of lung cancer in uranium miners. *Cancer* 62:402-408.
- Sandberg, M. 1991. What is ventilation efficiency? *Build Environ* 16:123-135.
- Scheff, PA, RA Wadden, BA Bates. 1990. Indoor air pollution. En *Health and Safety Beyond the Workplace*, dirigido por LV Cralley, LJ Cralley y WC Cooper. Nueva York: Willey.
- Seinfeld, J.H., Science 243, 741-752, 2006.
- Selway, M. D., R. J. Allen, and R. A. Wadden. 1980. Ozone Production from Photocopier Machines, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, (41) 455-459.
- Sosa E., R. "Evaluación de la Calidad del Aire en el Interior de un Edificio en la zona Metropolitana de la Ciudad de México". Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UNAM. 1991.
- SPSS. *Statistical Product and Service Solutions. Version 15 en español.*
- Threlkeld J.L "Ingeniería del Ámbito Térmico". Editorial Prentice/Hall Internacional. 1993.
- Turiel, I. 1990. *Indoor Air Quality and Human Health*. Palo Alto, Calif: Stanford Univ. Press.
- Turnipseed, A.A., et al., *J. Chem. Phys.* 953244-3251, 2006.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-402/K-93-005). 1993.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-452/F-00-001). 2000.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-452/F-05-001). 2000.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-454/R-98-004). 2000.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-454/R-99-009). 1999.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-456/F-00-003). 2000.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (EPA-600/R-95-045). 1995.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency, EPA 600-8-84102ObF, U.S., 1990.
- U. S. EPA. Environmental Protection Agency (US EPA). 2003. *Respiratory Health Effects of Passive Smoking: Lung Cancer and Other Disorders*. Washington, DC: US EPA.
- U. S. IGS. Inspección General de Sanidad de los Estados Unidos, 1985.
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment , OTA-0-412, Washington. DC, U.S.
- Wadden, RA, PA Scheff. 1983. *Indoor Air Pollution. Characterization, Prediction and Control*. Nueva York: Wiley.
-

Wanner, H-U, AP Verhoeff, A Colombi, B Flannigan, S Gravesen, A Mouilleseux, A Nevalainen, J Papadakis, K Seidel. 1993. *Biological Particles in Indoor Environments. Indoor Air Quality and Its Impact On Man*. Bruselas: Comisión Europea.

Wark, Kenneth. Air Pollution. Its Origin and Control, pp.:510,514, chapter 1, 9. 1998. Ed. Addison Wesley

White, JR, HF Froeb. 1990. Small airway dysfunction in non-smokers chronically exposed to tobacco smoke. *New Engl J Med* 302:720-723.

Wolkoff, P. 1992. *Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality-State of the Art in SBS*. Bruselas: ECSC.

Wolkoff, P., C. K. Wilkins, P. A. Clausen, and K. Larsen. 1993. Comparison of volatile organic compounds from office copiers and printers: Methods, Emission Rates, and Modeled Concentrations. *Indoor Air* 3:113-123.

Yocom, JE, SM McCarthy. 1991. *Measuring Indoor Air Quality: A Practical Guide*. Chichester: Wiley.

A N E X O.

NORMATIVIDAD.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL-1993

Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

(Publicada en el D.O.F. de fecha 18 de octubre de 1993)

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracción XXV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracción VIII, 8o. fracciones II y VII, 9o. apartado A) fracción V, 36, 43, 111 fracción III, 112 fracción VI, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7o. fracciones II y VI, 42 y 43 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización; Primero y Segundo del Acuerdo por el que se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que la evaluación de la calidad del aire en los asentamientos humanos para efectos de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial, requiere que los equipos de las estaciones y los sistemas de monitoreo, apliquen métodos homogéneos y confiables de medición para cada contaminante.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCAM-003/93, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 1993 con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 1º de julio de 1993, la sustitución de la clave **NOM-PA-CCAM-003/93**, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave **NOM-036-ECOL-1993**, que en lo subsecuente la identificará.

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, ordenó la publicación de las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V, número especial de octubre de 1993.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 23 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-036-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.

Prefacio

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron:

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL

Instituto Nacional de Ecología

SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATA

Subsecretaría de Minas e Industria Básica

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Dirección General de Proyectos Ambientales

GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO

Secretaría de Ecología

PETROLEOS MEXICANOS

Auditoría de Seguridad Industrial, Protección Ambiental y Ahorro de Energía

Gerencia de Protección Ambiental y Ahorro de Energía

Pemex-Gas y Petroquímica Básica

Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental

Gerencia de Protección Ambiental

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

ENVASES ZACATECAS, S.A. DE C.V.

TAPAS Y TAPONES DE ZACATECAS, S.A. DE C.V.

PINTURAS DE LARAPLAS, S.A.

PROCTER & GAMBLE DE MEXICO, S.A. DE C.V.

SERVICIOS PROFESIONALES EN CONTROL DE CONTAMINANTES, S.A.

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

2. CAMPO DE APLICACION

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial.

3. REFERENCIAS

NMX-AA-23 Terminología

4. Definiciones

4.1 Aire ambiente

Atmósfera en espacio abierto.

4.2 Aire cero

El aire sometido a un proceso de depuración por métodos artificiales.

4.3 Condiciones de referencia

La temperatura y presión barométrica a que se deben corregir los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire. Estas condiciones son: temperatura 298 K (25°C) y presión barométrica 101 kPa (760 mm Hg).

4.4 Equipo de calibración

El dispositivo o conjunto de dispositivos que permiten establecer el patrón de referencia contra el que se comparará la operación del equipo de medición.

4.5 Equipo de medición

El conjunto de dispositivos instrumentales necesarios para medir la concentración de un contaminante.

4.6 Estación de monitoreo

El conjunto de elementos técnicos diseñados para medir la concentración de contaminantes en el aire en forma simultánea, con el fin de evaluar la calidad del aire en una área determinada.

4.7 Método de referencia

El procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su caso, para contrastar el método equivalente, cuando éste se haya establecido por la Secretaría.

4.8 Método equivalente

El procedimiento de análisis y medición para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente, señalado como tal en una norma oficial mexicana por producir resultados similares a los que se obtienen con el método de referencia susceptible de aplicarse en sustitución de éste.

4.9 Sistema de monitoreo

El conjunto de estaciones de monitoreo.

5. SIMBOLOS

5.1 Notación

Símbolo	Concepto
A ₁	Determinación de la concentración original.
A ₂	Determinación de la concentración diluida.
C	Concentración de ozono en atm.
C	Concentración de ozono en ppm.
E	Error de linealidad en por ciento.
F _o	Velocidad de flujo a través del generador de ozono en l/min.

Fd	Velocidad de flujo del aire diluyente en l/min.
Fz	Velocidad de flujo del aire cero en l/min.
μ	Coefficiente de absorción del ozono a 254nm = $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 273 K ($^{\circ}\text{C}$) y a 101.325 kPa 760 torr).
I	Intensidad de la luz a través de aire con ozono.
I _o	Intensidad de la luz a través de aire cero.
L	Longitud de la trayectoria óptica en cm.
L	Factor de corrección debido a la pérdida de ozono (1 - fracción de ozono perdida).
LSR	Límite superior del rango del analizador de ozono en ppm.
[O ₃] _{dil}	Concentración diluida de ozono en ppm.
[O ₃] _{sal}	Concentración de ozono en ppm.
P	Presión de la muestra en kPa (torr).
R	Razón de la dilución = flujo de la concentración original dividido entre el flujo total.
T	Temperatura de muestreo en K.
Z	Respuesta del registrador con aire cero en por ciento de la escala.

5.2 Unidades

Símbolo	Unidad
atm	Atmósferas
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
K	Grados Kelvin
l/min	Litros por minuto
mm de Hg	Milímetros de mercurio
nm	nanómetros
Pa	Pascales
ppm	Partes por millón

6. METODO DE REFERENCIA

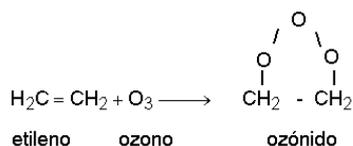
6.1 El método de referencia para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de luminiscencia química ([anexo 1](#)).

6.2 Principio y descripción del método de referencia.

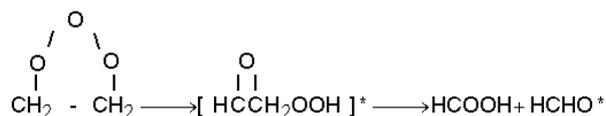
6.2.1 El método de referencia se basa en la capacidad que tiene el ozono de emitir luz al reaccionar con etileno.

En este método se hace entrar simultáneamente aire y etileno a la cámara de mezclado del analizador. Ahí, el ozono presente en el aire reacciona con el etileno emitiendo una luz, que se detecta a través de un tubo fotomultiplicador. La fotocorriente resultante se amplifica y puede leerse directamente o mostrarse en un registrador, de acuerdo con la cinética de la reacción que se describe enseguida:

6.2.1.1 El ozono se combina con el etileno para formar una molécula de ozónido a través de la siguiente ecuación:



6.2.1.2 Posteriormente el ozónido se disocia en un ácido orgánico (ácido fórmico) y un formaldehído activado.



6.2.1.3 El formaldehído activado disipa su exceso de energía liberando fotones.



6.2.1.4 La celda de reacción de la cámara de mezclado está aislada de la luz, de tal manera que se asegure que sólo la luz resultante de la reacción etileno-ozono sea registrada por el tubo fotomultiplicador. El diseño de la celda es tal, que la reacción se lleva a cabo muy cerca de la ventana, por lo que se puede decir que la totalidad de la luz resultante incide en el tubo fotomultiplicador. La ventana es una pieza de plexiglas transparente que sella un extremo de la celda de reacción, permitiendo así que la luz sea transmitida al detector.

6.2.1.5 La energía luminosa emitida por la reacción ozono-etileno es convertida a una señal eléctrica por el tubo fotomultiplicador, amplificada posteriormente y utilizada para exteriorizar la lectura de la concentración.

7. EQUIPO DE MEDICION

7.1 Para la aplicación del método de referencia se requiere de un analizador para ozono que maneje la técnica de luminiscencia química. Los principales componentes del analizador son los siguientes:

7.1.1 Controladores de flujo de etileno y de la muestra.

Dispositivos que regulan la velocidad de los flúidos a través del sistema neumático del analizador.

7.1.2 Celda de reacción

Recipiente sellado en el cual se mezclan dos o más compuestos para provocar una reacción ([anexo 2](#)).

7.1.3 Sistema electrónico de detección y procesamiento de la señal.

Serie de componentes electrónicos que reciben, amplifican y procesan la señal resultante de la reacción, para convertirla en señal analógica que permita registrar mediante dispositivos especiales las lecturas del contaminante.

7.1.4 Reactivos

Etileno a 99.99% de pureza.

8. CALIBRACION DEL EQUIPO DE MEDICION

8.1 El método para la calibración del analizador de ozono en el aire ambiente, aplicable tanto al método de referencia como al equivalente es el de fotometría ultravioleta y se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono.

La concentración se determina cuando el fenómeno de absorción se acopla con los principios fotométricos de la Ley de Lambert-Beer, que establece que si un haz de luz monocromática pasa a través de un medio, la intensidad con que abandone dicho medio depende exponencialmente de tres

factores: el coeficiente de absorción de las moléculas en el medio, su concentración y la distancia que la luz tenga que viajar.

Esta determinación requiere del conocimiento del coeficiente de absorción (α) del ozono a 254 nm; la longitud de la trayectoria óptica (l) a través de la muestra y la transmitancia de la muestra a una longitud de onda de 254 nm.

Si todos estos factores son conocidos, la única variable que necesita ser determinada es la de la concentración, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = -\frac{10^6}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Donde:

C = Concentración de ozono en ppm.

μ = Coeficiente de absorción de ozono a 254 nm = $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 273 K (0°C) y a 101.325 kPa (760 torr).

l = Longitud de la trayectoria óptica en cm.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

I_0 = Intensidad de la luz a través de aire cero.

El fotómetro mide la transmitancia de la muestra y electrónicamente calcula la concentración de ozono, por medio de un microprocesador.

Para producir diversas concentraciones dentro del rango requerido, en la práctica se usa un generador estable de ozono.

Las concentraciones calculadas de ozono deben ser corregidas por las pérdidas de este gas que pueden ocurrir en el fotómetro, así como por la temperatura y la presión de la muestra.

9. METODO DE CALIBRACION

9.1 El principio del método de fotometría ultravioleta se basa en la generación de concentraciones de ozono en un sistema de diluciones.

La concentración de ozono en una celda de absorción, se determina a partir de la medición de la cantidad de luz en la región de 254 nm, que es absorbida por la muestra. Para determinar esto, es necesario conocer los siguientes factores:

9.1.1 El coeficiente de absorción del O_3 a 254 nm (α).

9.1.2 La longitud del trayecto óptico a través de la muestra (l)

9.1.3 La transmitancia a una longitud de onda de 254 nm.

9.1.4 La temperatura (T) y presión (P) de la muestra.

La relación de estas dos lecturas (I/I_0) denominada transmitancia, está directamente relacionada con la concentración de ozono en la muestra, por medio de la Ley de la absorción de Lambert-Beer, en la que:

$$\text{Transmitancia} = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha cl} \quad (2)$$

Donde:

μ = Coeficiente de absorción del ozono = $308 \pm 4 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 254 nm, 0°C y 760 torr.

l = Longitud de la trayectoria óptica en cm.

c = Concentración de ozono en atm.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

I_0 = Intensidad de la luz a través de aire cero.

En la práctica un generador de ozono se utiliza para producir concentraciones de ozono en el rango requerido. Cada concentración de ozono se determina por la transmitancia I/I_0 de la muestra a 254 nm, con un fotómetro cuya longitud de la celda sea l y se calcula con la siguiente ecuación:

$$C = -\frac{10^4}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

La concentración de ozono debe ser corregida por pérdidas del ozono que puedan ocurrir en el fotómetro y por la presión y temperatura de la muestra.

Aplicabilidad.- Este procedimiento es aplicable para la calibración de analizadores de ozono directamente o por medio de un patrón de transferencia.

9.2 El método de fotometría ultravioleta es aplicable en la calibración de analizadores de ozono en el aire ambiente, ya sea en forma directa o por medio de un patrón de transferencia certificado por este método.

10. COMPONENTES Y CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE CALIBRACION

10.1 La configuración del equipo debe considerar una concentración estable de ozono a la salida del sistema, así como permitir que el fotómetro mida exactamente la concentración de salida con la precisión que le ha sido especificada. En el [anexo 3](#) se muestra una configuración que se usa con frecuencia y sirve para ilustrar el procedimiento de calibración. Todas las conexiones entre los componentes en el sistema de calibración que estén colocadas después del generador de ozono, deben ser de vidrio, teflón o de otro material inerte. Los patrones de transferencia que contengan su propia fuente de ozono, pueden reemplazar al generador de ozono y muy posiblemente a otros componentes para su certificación.

Los principales componentes de los equipos de calibración a que se refiere el punto 7, se muestran en el [anexo 3](#) y deben reunir las siguientes características:

10.1.1 Fotómetro de luz ultravioleta.

El fotómetro consta de una lámpara de mercurio de baja presión, un sistema óptico de enfoque (opcional), una celda de absorción, un detector y un subsistema electrónico para procesamiento de la señal ([anexo 4](#)). Debe tener la capacidad de medir la transmitancia entre la intensidad de la luz a través de aire con ozono y la intensidad de la luz a través de aire cero (I/I_0), para una longitud de onda de 254 nm, con la suficiente precisión para que la desviación estándar de la medición de la concentración no sea mayor a 0.005 ppm ó el 3% del valor. Debido a que la lámpara de mercurio irradia energía luminosa en varias longitudes de onda, el dispositivo debe incorporar un medio que garantice que no se genere ozono dentro de la celda y que al menos el 99.5% de la radiación detectada esté en el rango de los 254 nm. La longitud de la trayectoria que seguirá la luz dentro de la celda, debe ser conocida con un 99.5% de certeza. Además, tanto la celda como sus conectores, deben estar diseñados para minimizar la pérdida de ozono debido al contacto con las paredes de la celda y conductos de gas.

10.1.2 Controladores del flujo de aire

Dispositivos capaces de regular el flujo de aire, según se requiera para mantener la estabilidad de salida, así como de cumplir con las especificaciones de precisión para el fotómetro.

10.1.3 Generador de ozono

Dispositivo capaz de generar niveles estables de ozono en todo el rango de la concentración requerida.

10.1.4 Múltiple de salida

Este componente del sistema debe ser de vidrio, teflón o cualquier otro material inerte y debe tener un diámetro suficiente para asegurar que la caída de presión sea mínima en la conexión del fotómetro, así como en otros puertos de salida. El sistema debe contar con un desfogue diseñado para asegurar que la presión en el múltiple de salida, sea mayor que la atmosférica, para evitar la entrada de aire ambiente.

10.1.5 Válvula de dos vías

Válvula manual o automática o cualquier otro medio para cambiar el flujo de aire cero o con ozono que entra al fotómetro.

10.1.6 Termómetro

Debe tener una exactitud de $\pm 1^\circ\text{C}$.

10.1.7 Barómetro u otro indicador de presión

Debe tener una exactitud de ± 2 torr.

10.1.8 Aire cero

11. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

11.1 Operación general

El fotómetro de calibración debe usarse únicamente como un patrón de calibración y debe utilizarse con aire cero o gases de calibración y no usarse para muestreos de aire ambiente. Dicho fotómetro debe mantenerse fijo en un laboratorio limpio y protegido de golpes, operarse adecuadamente y utilizarse como un patrón común para todas las calibraciones de campo, mediante los patrones de transferencia.

11.2 En la preparación del equipo de calibración se seguirán las siguientes etapas:

11.2.1 Llevar a cabo todos los pasos para su instalación y ajuste descritos en el manual del fabricante.

11.2.2 Verificar entre otros aspectos su integridad, limpieza, velocidades de flujo apropiados y que no presente fugas. Efectuar el mantenimiento o el reemplazo de los filtros y de los limpiadores del aire cero o de otros materiales de consumo, según sea necesario.

11.2.3 Verificar que el fabricante del fotómetro establezca que el error por linealidad sea inferior a 3% o probar la linealidad por dilución como sigue: generar y ensayar una concentración de ozono que esté cercana al límite superior del rango (0.5 o 1.0 ppm); diluir exactamente esa concentración con aire cero y volver a probarla. Repetir la operación con varias relaciones de dilución; comparar el ensayo de la concentración original con el de la concentración diluida, dividida entre la relación de dilución, como sigue:

$$E = \frac{A_1 - (A_2/R)}{A_1} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

E = Error de linealidad en por ciento.

A₁ = Determinación de la concentración original.

A₂ = Determinación de la concentración diluida.

R = Razón de la dilución = flujo de la concentración original dividido entre el flujo total.

El error de linealidad debe ser inferior a 5%. Debido a que la exactitud de las velocidades de flujo medidas tendrá efecto sobre el error de linealidad, cuando se mide de esta manera, la prueba no es necesariamente decisiva.

11.2.4 Cuando sea posible, el fotómetro debe compararse, ya sea directamente o vía patrones de transferencia con el fotómetro de calibración usado por otras dependencias o laboratorios.

11.2.5 Una parte del ozono puede perderse por contacto con las paredes de la celda del fotómetro y con los componentes del sistema de manejo de los gases. La magnitud de estas pérdidas puede determinarse y ser usada para corregir la concentración de ozono calculada; la pérdida no debe exceder de 5%.

Cuando se comience a usar el fotómetro, las etapas enunciadas en este punto, deben seguirse con frecuencia, registrando todos los resultados o indicaciones cuantitativas en un registro cronológico, ya sea en forma tabulada o graficada. A medida que se va estableciendo el registro de estabilidad del fotómetro, puede irse reduciendo la frecuencia de estos pasos, de acuerdo con la estabilidad documentada del fotómetro.

11.3 Para la determinación de la concentración de ozono, se deben seguir las siguientes indicaciones:

11.3.1 Dejar que el sistema del fotómetro se estabilice, en todas sus funciones.

11.3.2 Verificar que la velocidad de flujo a través de la celda de absorción del fotómetro, F, permita que la celda se lave en un tiempo razonablemente corto (2 l/min es un flujo típico). La precisión de las mediciones está inversamente relacionada con el tiempo que se requiere para el lavado, ya que el error derivado del fotómetro aumenta con el tiempo.

11.3.3 Asegurarse de que la velocidad de flujo dentro del múltiple de salida sea, cuando menos, 1 litro/min mayor que la suma de los flujos requeridos por el fotómetro y por cualquier otro dispositivo conectado al múltiple.

11.3.4 Asegurarse de que la velocidad de flujo del aire cero (Fz) sea cuando menos, 1 l/min mayor que la velocidad de flujo requerida por el fotómetro.

11.3.5 Accionar la válvula de dos vías con el aire cero fluyendo en el múltiple de salida, de tal manera que el fotómetro muestre primero el aire cero del múltiple o sea Fz. Las dos lecturas del fotómetro deben ser iguales ($I = I_0$). En este paso el generador de ozono debe estar desactivado.

En algunos fotómetros comerciales, la operación de la válvula de dos vías y otras de las operaciones indicadas pueden ser realizadas automáticamente por el fotómetro.

11.3.6 Ajustar el generador de ozono para producir la concentración que se necesite.

11.3.7 Accionar la válvula de dos vías, para permitir que el fotómetro muestree aire cero hasta que la celda de absorción se haya lavado perfectamente y registrar el valor estable medido de I_0 .

11.3.8 Accionar la válvula de dos vías, para permitir que el fotómetro muestree la concentración de ozono hasta que la celda de absorción se haya lavado perfectamente y registrar el valor estable de I .

11.3.9 Registrar la temperatura y la presión de la muestra en la celda de absorción del fotómetro.

11.3.10 Calcular la concentración de ozono, según la siguiente fórmula (el promedio de varias mediciones proporciona mayor precisión):

$$[O_3]_{\text{sal}} = \left(-\frac{1}{\alpha l} \ln \frac{I}{I_0} \right) \left(\frac{T}{273} \right) \left(\frac{101.325}{P} \right) \left(\frac{10^6}{L} \right) \quad (5)$$

Donde:

$[O_3]_{\text{sal}}$ = Concentración de ozono en ppm.

μ = Coeficiente de absorción de ozono a 254 nm = 308 atm⁻¹cm⁻¹ a 273 K (0°C) y a 101.325 kPa (760 torr).

I = Longitud del trayecto óptico en cm.

T = Temperatura de muestreo en K.

P = Presión de la muestra en kPa.

L = Factor de corrección debido a la pérdida de ozono (1 - fracción de ozono perdida).

I_o = Intensidad de la luz a través de aire cero.

I = Intensidad de la luz a través de aire con ozono.

11.3.11 Obtener varias concentraciones de ozono como sea necesario repitiendo los pasos 11.3.6 a 11.3.10.

11.4 Certificación de patrones de transferencia. Un patrón de transferencia se certifica relacionando la salida del patrón a uno o más, conforme se determina en la sección 11.3. La exactitud del procedimiento varía dependiendo de la naturaleza y diseño del patrón de transferencia.

11.5 La calibración de los analizadores de ozono por el método de fotometría ultravioleta, debe hacerse utilizando patrones de ozono obtenidos en la forma que se indica en el punto anterior o por medio de un patrón de transferencia certificado. Esta calibración se debe llevar a cabo de la siguiente manera:

11.5.1 Dejar pasar suficiente tiempo para que el analizador y el fotómetro o el patrón de transferencia, adquieran la temperatura adecuada de operación y se estabilicen.

11.5.2 Dejar que el analizador muestree aire cero hasta que se obtenga una respuesta estable y ajustar a cero el control del analizador. Se recomienda pasar el ajuste del cero del analizador hasta +5% de la escala para facilitar la observación de una desviación del cero negativa. Registrar la respuesta estable del aire cero como "Z".

11.5.3 Generar una concentración de ozono de aproximadamente 80% del límite superior del rango deseado (LSR) del analizador. Permitir que el analizador muestree esta concentración hasta que se obtenga una respuesta estable.

11.5.4 Ajustar el control del rango del analizador para obtener una respuesta conveniente del registrador, como se indica a continuación:

$$\text{Respuesta del registrador (\% escala)} = \left(\frac{[\text{O}_3]_{\text{sal}}}{\text{LSR}} \right) \times 100 + Z \quad (6)$$

Donde:

LSR = Límite superior del rango del analizador de ozono en ppm.

Z = Respuesta del registrador con aire cero en por ciento de la escala.

Registrar la concentración de ozono y la respuesta correspondiente del analizador. Si es necesario un ajuste importante del control del rango, verificar nuevamente los ajustes del cero y del rango, repitiendo los pasos 11.4.2 a 11.4.4.

11.5.5 Generar varias concentraciones patrones de ozono, se recomiendan cuando menos otras cinco dentro del rango de la escala del analizador, por ajuste de la fuente o por dilución de la concentración generada. En este caso se requieren mediciones exactas de flujo. El sistema de calibración dinámica puede ser modificado para permitir la medición del aire de dilución después del generador. También se requiere de una cámara de mezclado entre el generador y el múltiple de salida. La velocidad de flujo a través del generador (F_o) y la velocidad de flujo del aire de dilución (F_d) se miden con un patrón de flujo

o de volumen confiable. Cada concentración de ozono generada por dilución se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$[\text{O}_3]_{\text{dil}} = [\text{O}_3]_{\text{sal}} \left(\frac{F_o}{F_o + F_d} \right) \quad (7)$$

Donde:

$[\text{O}_3]_{\text{dil}}$ = Concentración diluida de ozono en ppm.

$[\text{O}_3]_{\text{sal}}$ = Ozono sin diluir en ppm.

F_o = Velocidad de flujo a través del generador de ozono en l/min.

F_d = Velocidad de flujo del aire diluyente en l/min.

11.5.6 Registrar para cada concentración patrón de ozono la correspondiente respuesta del analizador.

11.5.7 Graficar las respuestas del analizador contra las concentraciones correspondientes de ozono y trazar la curva de calibración del analizador o bien calcular el factor de respuesta correspondiente.

12. METODO EQUIVALENTE

12.1 El método equivalente para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente, es el de fotometría en la región de radiación ultravioleta.

Este método se basa en el principio fotométrico de la absorción de luz en el rango de la radiación ultravioleta por el ozono. Este principio también es aplicable al método de calibración del equipo de medición.

13. CALCULO DEL REPORTE

13.1 La medición se hace en forma continua mediante el uso de procesos automatizados.

13.2 Para reportar los valores al público se calculan las concentraciones en partes por millón, en promedios por minuto y a partir de éstos, se calculan los promedios horarios reportándose el valor máximo que se haya presentado en el día.

14. VIGILANCIA

14.1 La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

15. SANCIONES

15.1 El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

16. BIBLIOGRAFIA

16.1 Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix D, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice D, revisado en julio 1990, Estados Unidos de América).

17. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

17.1 Esta norma oficial mexicana coincide totalmente con la norma contenida en el Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix D, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice D, revisado en julio 1990, Estados Unidos de América).

18. VIGENCIA

18.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

18.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCAM-003/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de octubre de 1991.

Anexo 1

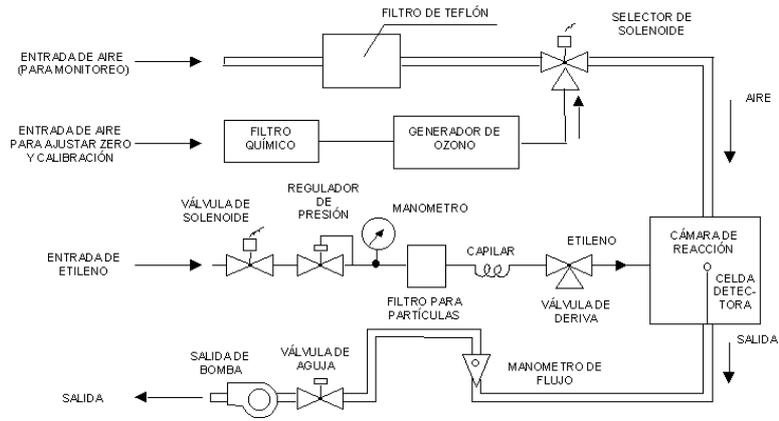
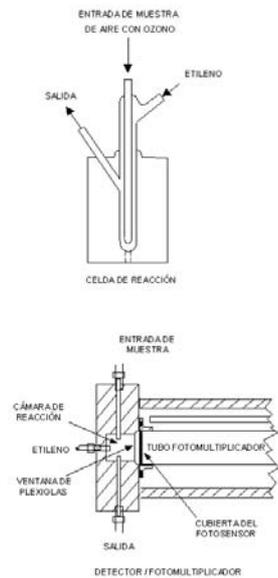
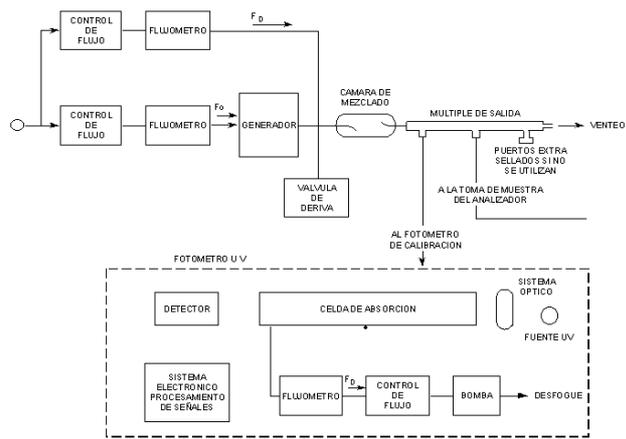


DIAGRAMA DE UN MONITOR PARA OZONO

Anexo 2



Anexo 3



Anexo 4

