



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN UN CENTRO DE
FOTOCOPIADO POR MUESTREO ACTIVO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA
Juan Pablo Alegre Nava

CIUDAD DE MÉXICO

2020





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: Profesor: Dr. José Agustín García Reynoso

VOCAL: Profesor: Dra. Gema Luz Andraca Ayala

SECRETARIO: Profesor: M. en C. Alejandra Mendoza Campos

1er. SUPLENTE: Profesor: Leonardo Damián Soria Rodríguez

2º SUPLENTE: Profesor: Yamileth Yazmin Martínez Vega

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA (UNAM)

ASESOR DEL TEMA:

M. en C. Alejandra Mendoza Campos

SUSTENTANTE:

Juan Pablo Alegre Nava

Contenido

Capítulo 1. Introducción

| | |
|-------------------------------|---|
| 1.1 Introducción General..... | 2 |
|-------------------------------|---|

Capítulo 2. Marco teórico

| | |
|---------------------------------|---|
| 2.1 Contaminantes del aire..... | 5 |
|---------------------------------|---|

| | |
|---|---|
| 2.2 Fuentes de generación de ozono..... | 8 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 2.3 Factores que afectan los niveles de ozono en el aire de Interiores..... | 9 |
|---|---|

| | |
|---|----|
| 2.4 Efectos del ozono en el ser humano..... | 16 |
|---|----|

| | |
|---------------------------|----|
| 2.5 Casos de estudio..... | 21 |
|---------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 2.6 Límites máximos permisibles de ozono | 23 |
|--|----|

Capítulo 3. Justificación y planteamiento del problema

| | |
|------------------------|----|
| 3.1 Justificación..... | 26 |
|------------------------|----|

| | |
|--------------------|----|
| 3.2 Hipótesis..... | 26 |
|--------------------|----|

Capítulo 4. Metodología

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.1 Funcionamiento del equipo..... | 28 |
|------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 4.2 Primera parte experimental..... | 29 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 4.3 Segunda parte experimental..... | 31 |
|-------------------------------------|----|

Capítulo 5. Resultados

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.1 Primera parte experimental..... | 34 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.2 Segunda parte experimental..... | 39 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| Capítulo 6. Análisis de Resultados | |
| 6.1 Primera parte experimental..... | 47 |
| 6.2 Segunda parte experimental..... | 53 |
| Capítulo 7. Conclusiones | |
| 7.1 Conclusiones..... | 59 |
| Capítulo 8. Bibliografía | |
| 8.1 Referencias | 62 |
| Apéndice. Bitácora | |
| Primera parte experimental..... | 67 |
| Segunda parte experimental..... | 69 |

Listado de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Mecanismo de reacción de ozono con alquenos..... | 13 |
| Figura 4.1. Equipo AEROQUAL serie 500..... | 28 |
| Figura 4.2. Cabezal de tipo 1 para el equipo AEROQUAL..... | 28 |
| Figura 5.1. Planta arquitectónica del centro de fotocopiado..... | 39 |
| Figura 5.2. Fachada Interior A..... | 40 |
| Figura 5.3. Fachada Interior B..... | 40 |
| Figura 5.4. Gráfica de emisiones de ozono para el día uno..... | 41 |
| Figura 5.5. Gráfica de emisiones de ozono para el día dos..... | 42 |
| Figura 5.6. Gráfica de emisiones de ozono para el día tres..... | 43 |
| Figura 5.7. Gráfica de emisiones de ozono para el día cuatro..... | 44 |
| Figura 5.8. Gráfica de emisiones de ozono para el día cinco..... | 45 |
| Figura 6.1. Prueba de normalidad de los promedios diarios..... | 48 |
| Figura 6.2. Prueba de igualdad de varianzas..... | 48 |
| Figura 6.3. Resultados de la prueba ANOVA..... | 49 |
| Figura 6.4. Prueba DUNCAN..... | 49 |
| Figura 6.5. Gráfica de cajas por día..... | 50 |
| Figura 6.6. Prueba de normalidad de los promedios diarios sin el día dos..... | 52 |
| Figura 6.7. Prueba de igualdad de varianzas sin el día dos..... | 52 |
| Figura 6.8. Resultados de la prueba ANOVA sin día dos..... | 53 |
| Figura 6.9. Gráfico de los valores registrados durante el día tres de experimentación..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 6.10. Gráfico de control para el valor máximo establecido por la normatividad nacional..... | 56 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 6.11. Gráfico de control para el valor máximo establecido por la normatividad internacional (US FDA)..... | 57 |
|--|----|

Listado de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Compuestos orgánicos volátiles comúnmente encontrados en interiores y sus constantes de reacción con el ozono..... | 12 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 2.2. Vida media de COV's para las reacciones con ozono..... | 12 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 2.3. Constantes de Remoción de Ozono en (h^{-1}) por superficies en diferentes ambientes de interiores..... | 15 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 2.4. Velocidades de deposición de ozono en materiales seleccionados y en la presencia de humanos..... | 16 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 2.5. Malestares a diferentes concentraciones de ozono..... | 21 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 2.6. Límites recomendados de ozono alrededor del mundo..... | 24 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.1. Mediciones de la concentración de ozono para el día uno..... | 34 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.2. Mediciones de la concentración de ozono para el día dos..... | 35 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 5.3. Mediciones de la concentración de ozono para el día tres..... | 36 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 5.4. Mediciones de la concentración de ozono para el día cuatro..... | 37 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.5. Mediciones de la concentración de ozono para el día cinco..... | 38 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.6. Especificaciones de los equipos de impresión dentro del centro de fotocopiado..... | 39 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.7. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el día uno..... | 41 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Tabla 5.8. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el día dos..... | 42 |
| Tabla 5.9. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el día tres..... | 43 |
| Tabla 5.10. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el día cuatro..... | 44 |
| Tabla 5.11. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el día cinco..... | 45 |
| Tabla 6.1. Promedios para el equipo AEROQUAL y el CCA por día..... | 47 |
| Tabla 6.2. Razón entre el valor promedio del CCA y el equipo..... | 47 |
| Tabla 6.3. Promedios para el equipo AEROQUAL y el CCA por día eliminando el día dos..... | 51 |
| Tabla 6.4. Comparación de valores promedio de ozono para aire de interiores y exteriores..... | 54 |
| Tabla 6.5. Comparación de valores promedio de ozono para aire de interiores y exteriores..... | 54 |

Capítulo 1

1.1 Introducción:

En la actualidad se ha vuelto una actividad común pasar la mayor parte del día en interiores, donde la contaminación puede alcanzar niveles más elevados con respecto a los niveles que se encuentran en el aire exterior, es por esta razón que diferentes asociaciones y grupos han comenzado a alertar a la población acerca de los peligros a la salud que existen relacionados con la deficiente calidad del aire de interiores.

Uno de los lugares donde se ha descubierto que existe mayor riesgo de salud es dentro de las oficinas (INSHT, 2017), esto debido a que, el aire interior puede estar contaminado, no solo por la entrada del aire que hay en el exterior, si no también debido a los contaminantes químicos precedentes de diversos equipos y materiales dentro de la oficina.

Los equipos electrónicos tales como fotocopiadoras, impresoras, computadoras, purificadores de aire son comunes dentro de una oficina, sin embargo, son estos equipos los que aportan a la contaminación del aire, debido a que estos equipos pueden producir emisiones de diferentes contaminantes, entre ellos ozono, compuestos orgánicos volátiles (COV's) y partículas suspendidas (Singh et al., 2014).

El ozono en interiores es producido en mayor cantidad por fotocopiadoras, impresoras láser y limpiadores de aire.

Es importante recalcar que, si bien estos contaminantes suelen ser emitidos en niveles relativamente bajos, estos podrían suponer molestias a los trabajadores como irritación en nariz, garganta y ojos, e inclusive en exposiciones más considerables pueden llegar a ser un potencial riesgo a la salud. Estos efectos pueden ser experimentados por los operadores de los equipos debido a la cercanía con la cual manejan estos mismos. Algunos autores declaran que la "La emisión de ozono ha sido identificado como un contaminante peligroso para los operadores y consumidores que se encuentren muy cerca de la máquina durante su operación". (Ayotamuno et al., 2013)

El presente estudio busca hacer una detección en los niveles de ozono a los que están expuestos los trabajadores del centro de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmósfera en Ciudad Universitaria. En el cual se hará un muestreo activo durante una semana por un periodo de cinco horas.

Capítulo 2

2.1 Contaminantes del aire.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calentamiento, Refrigeración, y Aire acondicionado ASHRAE por sus siglas en inglés define a la calidad ambiental como: “La armonía de factores térmicos, acústicos, luminosos y del aire que se respira, que no ha de suponer peligro para la salud y ha de resultar fresco y agradable”.

El aire ambiental está constituido por diferentes sustancias químicas las cuales varían debido a diferentes factores, estos pueden ser: el diseño arquitectónico de los edificios, los materiales de construcción, los sistemas de ventilación, el uso de equipo electrónico, el tipo de recubrimiento sobre las paredes, etc. Sin embargo, esta armonía de factores puede verse afectada cuando existe un desequilibrio en la concentración de los componentes del aire y de alguna manera se encuentra favorecida la presencia de ciertos compuestos químicos que resultan ser nocivos para el ser humano. Entre algunos de estos contaminantes se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (COV's), compuestos semivolátiles, las partículas suspendidas y el ozono.

En diversos estudios realizados durante los últimos veinte años se ha descubierto que las máquinas fotocopadoras son capaces de liberar los contaminantes mencionados anteriormente, mediante diferentes métodos. A continuación, se hace una breve explicación de los contaminantes y como estos son liberados.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)

Son sustancias químicas que contienen carbono en su estructura y se convierten fácilmente en vapores o gases. Estos productos generalmente son liberados por disolventes y pinturas. A pesar de ello, en estudios desarrollados durante los últimos años se ha descubierto que estos mismos se liberan al medio ambiente al aumentar la temperatura dentro de los equipos de oficina.

Algunos de los más frecuentes emitidos por equipos de oficina son: hidrocarburos aromáticos (benceno, etilbenceno, clorobenceno, tolueno, estireno, xilenos), hidrocarburos alifáticos (dodecano, hexadecano), hidrocarburos clorados (tricloroetileno, tetracloroetileno y formaldehído. (INSHT, 2017)

Compuestos orgánicos semivolátiles

Es un grupo de los compuestos orgánicos cuya volatilidad se considera en el rango intermedio, lo que los hace igualmente abundantes en fase vapor y líquida o condensado. Estos compuestos son generalmente adicionados a los equipos de oficina con el propósito de aumentar la resistencia a la ignición de los equipos electrónicos.

Existen dos grupos de retardantes de flama, los halogenados y los organofosforados. Dentro de los bromados destacan los bifenilos polibromados, los éteres difenilos polibromados y los bisfenoles bromados. Dentro de los organofosforados se encuentran fosfato de tris(2-cloroetilo), fosfato de tributilo, fosfato de trifenilo, esto por mencionar algunos. (INSHT, 2017)

De igual manera como sucedía con los COV's al calentarse los equipos electrónicos estos también liberan en pequeñas cantidades estos compuestos ya que estos solo se evaporan hasta cierto grado.

Partículas Suspendidas.

Son un grupo de partículas que se caracterizan por tener un tamaño cercano a los micrómetros. Estas partículas se localizan dentro de los equipos de impresión y de fotocopiado, ya que representan parte de los compuestos químicos que forman al tóner de impresión. Estas son generalmente liberadas en pequeñas cantidades, ya que los cartuchos de tóner son sellados y la única forma de liberación es a través de una hendidura muy estrecha situada próxima a la superficie del papel en donde se adhieren.

Ozono

El ozono es una molécula constituida por tres átomos de oxígeno, la cual se genera a partir de la exposición del oxígeno a una fuente de alta energía, al entrar en contacto con esta energía la molécula de oxígeno se rompe y esto permite que reaccione con otros átomos de oxígeno formándose así el ozono.

El aire que nos rodea está constituido aproximadamente por 20% de moléculas de O_2 , y este solo contiene trazas de ozono, generalmente entre un 0.01 y 0.1 ppm. Esta molécula triatómica se encuentra en una mayor cantidad en la estratósfera y es aquí en donde actúa como una barrera para la radiación que proviene del sol.

El proceso mencionado anteriormente ocurre dentro de las fotocopiadoras debido a su forma de funcionar, ya que el documento original es barrido por un haz de luz, generalmente luz UV, que proyecta una imagen de dicho documento sobre la superficie de un cilindro o tambor fotoconductor, el cual ha sido cargado eléctricamente mediante la aplicación de un voltaje a través de un filamento de corona o de un rodillo. Las cargas negativas del tambor atraen al polvo del tóner, que se adhiere a estas zonas reproduciendo el documento, el cual, es transferido al papel que se encuentra recubierto por partículas cargadas positivamente. El papel y las partículas de tóner pasan a un rodillo de calor donde se derrite el copolímero del tóner a elevadas temperaturas y se aplica presión con el fin de fijar de forma definitiva el pigmento sobre el papel (INSHT, 2017). Este proceso ocurre dentro de las fotocopiadoras e impresoras xerográficas. Sin embargo, para las fotocopiadoras electrostáticas el proceso es muy similar, aunque aquí las diferencias radican en que el papel ha sido tratado previamente con óxido de zinc y junto con una resina termoplástica.

Como se había mencionado anteriormente, el ozono es generado mediante una fuente de alta energía, es por esta razón que algunos autores atribuyeran la generación de ozono a la energía generada mediante la luz UV, no obstante, un estudio demostró que la producción de ozono generada por este medio resulta insignificante con respecto a la cantidad de ozono generado mediante la carga y descarga del filamento y el tambor (Singh et al., 2014).

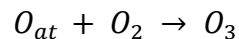
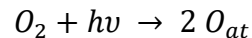
A pesar de lo mencionado anteriormente, esta no es la única fuente que influye en la concentración de ozono en aire de interiores, diferentes investigadores han podido determinar que la concentración se ve afectada por diversos factores, entre los cuales destacan la concentración de ozono en el exterior, el intercambio de aire con el exterior, la cantidad de emisiones internas, remoción mediante diferentes

superficies y mediante reacciones del ozono y otros compuestos químicos en el aire, estas serán explicadas con mayor detalle a continuación.

2.2 Fuentes de generación de ozono.

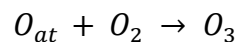
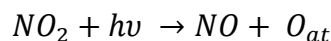
Exterior

Como se mencionó anteriormente el ozono es un gas que se encuentra mayormente en la estratosfera, este actúa como una barrera frente a diversas radiaciones electromagnéticas provenientes del sol, entre las que se encuentra la radiación ultravioleta. A pesar de ello, el ozono también puede encontrarse a nivel de suelo, esto se debe a que el oxígeno se disocia por causa de la radiación y se lleva a cabo la siguiente reacción:



En las reacciones anteriores se observa que la primera parte es necesario proporcionar energía para que la reacción se pueda llevar a cabo, esta energía es liberada a través de las diferentes radiaciones electromagnéticas, las cuales favorecen que la reacción se lleve a cabo.

Otro de los mecanismos mediante el cual se puede producir ozono a nivel de piso es mediante la foto disociación del dióxido de nitrógeno, la cual produce óxido nítrico y ozono. Este mecanismo es importante debido a que el dióxido de nitrógeno es uno de los contaminantes más comunes liberados por los automóviles.



Como se puede observar, la reacción es muy parecida a la anterior, sin embargo, para cada una de estas reacciones se requieren diferentes magnitudes de energía, para la foto disociación del oxígeno se requiere de una longitud de onda menor a 240 nm y para la disociación de del dióxido de nitrógeno se requiere de una longitud de onda menor a 474 nm (Solaz Portóles, 2001).

Es por esta razón que, en las zonas urbanas con un elevado índice de población y luz solar abundante, la concentración en los niveles de ozono tiende a ser más elevada en comparación a zonas rurales con bajo índice de población.

Interior

Como se mencionó anteriormente, se sabe que algunos equipos de oficina entre ellos las fotocopiadoras son los responsables de las emisiones de ozono en el interior de un cuarto. Sin embargo, estos no son los únicos equipos, ya que, las impresoras a láser también pueden llevar a cabo la reacción responsable de la generación de ozono. Además de que existen purificadores de aire cuyo principio de funcionamiento es emitir ozono para eliminar los contaminantes en el aire interno, esto debido a que el ozono es un fuerte agente oxidante, lo cual lo hace capaz de oxidar numerosas moléculas. Es importante recalcar, que todos estos equipos generan el ozono mediante la emisión de una gran cantidad de energía, ya sea por la carga y descarga del tambor o rodillo, el uso de una lámpara de UV como ocurre en las fotocopiadoras, la producción de un láser para las impresoras o incluso la carga de un filamento de corona como lo es en los purificadores de aire y fotocopiadoras, todos estos métodos son suficientes para emitir ozono (Weschler, 2000).

2.3 Factores que afectan los niveles de ozono en el aire ambiental y de interiores.

Tomando en cuenta que la reacción de ozono es del tipo fotoquímico, es posible asumir que la concentración de ozono en exteriores variara dependiendo del flujo solar, el cual se define como la cantidad de energía en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie que llega a la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del sol. Por lo tanto, debido a lo mencionado anteriormente las concentraciones de ozono serán mucho más elevadas durante el día en comparación con las concentraciones nocturnas. Además, estas también se verán modificadas de acuerdo con la estación del año en la que se hagan las mediciones, con relación a esto la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos determinó en 1998 que durante el verano los niveles de ozono

tienden a ser entre cinco y diez veces mayores que los registrados durante el invierno.

Algunos estudios han demostrado que las concentraciones de ozono en interiores dependen de la velocidad en el intercambio de aire (Shair & Heitner, 1974). Es por esta razón que el ozono en interiores está directamente vinculado con la concentración de ozono que existe en el exterior. Un estudio demostró que las concentraciones de ozono tendían a ser mayores cuando las ventanas estaban abiertas que cuando estaban cerradas, esto en lugares donde no hubiera fuentes generadoras de ozono en el interior (Avol et al., 1998).

Otro de los factores que pueden influenciar los niveles de ozono es la temperatura. Esto debido a que, al aumentar la temperatura, se crea un gradiente de temperatura entre el aire interior y el exterior, lo cual genera que aumente el intercambio de aire entre estos dos puntos, esto genera que aumente el movimiento de ozono de la parte exterior a la interior.

Sin embargo, es importante recalcar que no todas las variaciones en los niveles de ozono son solo determinadas por factores medioambientales, otro de los factores que influye sobre los niveles de ozono es el funcionamiento del equipo que se encuentra dentro de las oficinas. Este repercute sobre los niveles de ozono debido a que la emisión de ozono está determinada por el voltaje que pasa sobre los cables de corona de la fotocopiadora, un estudio demostró que, a mayor corriente en la corona mayor producción de ozono (Islamov & Krishtafovich, 2011), esto debido a que durante la impresión del documento la energía emitida por la corriente eléctrica es capaz de romper los enlaces en la molécula de oxígeno y generar radicales libres, los cuales reaccionaran junto con otras moléculas de oxígeno diatómico y generaran la molécula de ozono. Además de que, otro estudio demostró que la producción de ozono está fuertemente ligada a el material del cual está hecho el electrodo de la corona (Nashimoto, 1988). Estos cables generalmente están hechos de níquel, aleaciones de cromo, tungsteno o acero inoxidable, los cuales al aumentar su temperatura disminuyen la producción de ozono de manera limitada. Sin embargo, al hacer uso de cables hecho mediante diferentes materiales, descubrieron que los

cables hechos con plata y manganeso disminuyeron la producción de ozono en un 53% al alcanzar una temperatura de 46° C y que los cables hechos con plata y níquel disminuían en un 25% las emisiones de ozono, con lo cual pudieron demostrar que la producción está fuertemente influenciada por el material del cual está hecho el electrodo del cable de corona.

Otro factor que depende del funcionamiento de las fotocopiadoras, son las condiciones en las cuales se encuentran los filtros de aire. Ya que, en algunos estudios, se ha demostrado que cuando se han incluido filtros eficientes en el equipo las emisiones de ozono disminuyen a menos de la mitad, de hecho, este estudio demostró que las emisiones de ozono de cinco fotocopiadoras distintas estaban dentro de un rango de 16 a 131 µg/copia antes de tener mantenimiento de rutina. Al finalizar el mantenimiento dentro de las fotocopiadoras las emisiones bajaron a un rango entre 1 a 4 µg/copia (Leovic et al., 1996).

Reacciones

Como se mencionó anteriormente existen equipos cuya función es la generación de ozono para la purificación del aire, esto debido a su gran poder oxidante, de hecho solo algunas especies como el flúor, el ion perxenato (XeO_6^{4-}), el oxígeno atómico y el radical hidroxilo son especies oxidantes de mayor poder (Cotton & Wilkins, 1980). Las reacciones con ozono pueden producir diferentes compuestos como carbonilos, ácidos carboxílicos, alcoholes, los cuales pueden llegar a ser más irritantes, olorosos, o dañinos que sus precursores.

A pesar de que el ozono es capaz de oxidar diferentes especies en fase gaseosa y de que las reacciones son termodinámicamente viables, un gran número de estas reacciones ocurren a una velocidad de reacción muy baja a temperatura ambiente, para que una reacción sea capaz de modificar la concentración del aire de interiores es necesario que esta ocurra a una velocidad equiparable o mayor a la velocidad de intercambio de aire (Weschler & Shields, 2000). En la tabla 2.1 y tabla 2.2, recuperadas del artículo de Weschler, se observan varios compuestos orgánicos volátiles que son comunes en el aire de interiores.

| Common indoor organic | Brown et al., 1994; | Daisey et al., 1994; | Shields et al., 1996; | Girman et al., 1999; | Rate constant ^e |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | weighted average ^a | geo. mean ^b | median ^c | range, median ^d | |
| | $\mu\text{g m}^{-3}$ | $\mu\text{g m}^{-3}$ | $\mu\text{g m}^{-3}$ | $\mu\text{g m}^{-3}$ | |
| Ethanol | 50-100 | 36 | — | — | 2.46×10^{-10} |
| Acetone | 20-50 | 10.2 | — | 7.1-220, 29 | 2.46×10^{-10} |
| 2-Propanol | — | 5.6 | — | — | 2.46×10^{-10} |
| Toluene | 20-50 | 9.8 | 6 | 1.6-360, 9 | 3.69×10^{-12} |
| 1,1,1-Trichloroethane | 20-50 | 24.3 | — | 0.6-450, 3.6 | 2.46×10^{-11} |
| m- & p-Xylene | 10-20 | 9.1 | 5 | 0.8-96, 5.2 | 1.48×10^{-11} |
| Dichloromethane | 10-20 | 1.4 | — | 0.5-360 | 2.46×10^{-11} |
| Decamethylcyclotetrasiloxane | — | — | 40 | — | 2.46×10^{-13} |
| p-Dichlorobenzene | 5-10 | — | 0.2 | 0.3-85 | 1.72×10^{-12} |
| Ethyl acetate | 5-10 | 1.1 | — | 0.2-65 | 2.46×10^{-10} |
| n-Decane | 5-10 | 2.9 | 6 | 0.3-50 | 2.46×10^{-13} |
| Branched C10 | — | — | 5 | — | 2.46×10^{-13} |
| n-Undecane | 1-5 | 7 | 9 | 0.6-58, 3.7 | 2.46×10^{-13} |
| n-Dodecane | 1-5 | 10.4 | 7 | 0.5-72, 3.5 | 2.46×10^{-13} |
| n-Pentadecane | 1-5 | — | 13 | — | 2.46×10^{-13} |
| n-Hexadecane | <1 | — | 11 | — | 2.46×10^{-13} |
| n-Tetradecane | 1-5 | — | 11 | — | 2.46×10^{-13} |
| 1,2,4-Trimethylbenzene | 5-10 | 3.9 | 5 | 0.3-25 | 3.20×10^{-11} |
| Octamethylcyclotetrasiloxane | — | — | 10 | — | 2.46×10^{-13} |
| Ethylbenzene | 5-10 | 2.2 | 2 | 0.3-30 | 3.69×10^{-12} |
| Nonanal | 5-10 | — | — | 1.2-7.9, 3.1 | 2.46×10^{-10} |
| 2-Butanone | 1-5 | — | — | 0.7-18 | 2.46×10^{-10} |
| Benzene | 5-10 | 3.2 | — | 0.6-17, 3.7 | 1.72×10^{-12} |
| Tetrachloroethylene | 5-10 | 2.7 | 4 | 0.3-50 | 2.46×10^{-11} |
| o-Xylene | 5-10 | 3 | 2 | 0.3-38 | 2.46×10^{-10} |
| n-Hexane | 1-5 | 1.8 | — | 0.6-21, 2.9 | 2.46×10^{-13} |
| Camphene | 10-20 | — | — | — | 2.21×10^{-8} |
| 1,2-Dichloroethylene | 10-20 | — | — | — | 6.05×10^{-9} |
| Isoprene | — | — | — | — | 2.95×10^{-7} |
| d-Limonene | 20-50 | 6.7 | 6 | 0.3-140, 7.1 | 5.14×10^{-6} |
| a-Pinene | 1-5 | — | 0.2 | 0.3-8.4 | 2.14×10^{-6} |
| Styrene | 1-5 | 1.7 | 1.5 | 0.2-6.7 | 5.31×10^{-7} |

^a Based on a summary of fifty studies conducted in over 1200 buildings between 1978 and 1990. For a given VOC, the indoor geometric mean concentrations from multiple studies is summarized as a "weighted average"; of geometric means (WAGM); see the cited article for details

^b Geometric means of the most frequently identified VOCs in 12 California office buildings, selected without regard to worker complaints. Included are naturally and mechanically ventilated buildings

^c Based on a study that measured VOCs in 70 U.S. telephone buildings. Listed are the 19 most abundant VOCs identified in the administrative facilities (11 of the 70 buildings) and their median concentrations

^d Range of indoor concentrations for 21 of the most abundant VOCs identified in the US Environmental Protection Agency BASE (Building Assessment Survey Evaluation) study. For 10 compounds, median concentrations are also reported. The cited database contains measurements from 56 buildings

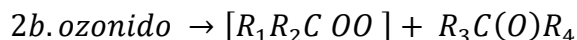
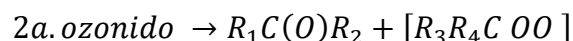
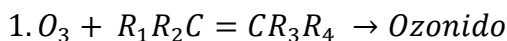
^e Rate constants are from the NIST Chemical Kinetics Database (Mallard et al., 1998); Atkinson et al. (1992); and Seinfeld and Pandis (1998)

Tabla 2.1. Compuestos orgánicos volátiles comúnmente encontrados en interiores y sus constantes de reacción con el ozono. (Weschler, 2000)

| Common indoor organics | 50 ppb O3 | 50 ppb O3 | 100 ppb O3 | 100 ppb O3 |
|------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | half-life | half-life | half-life | half-life |
| | hours | days | hours | days |
| Ethanol | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| Acetone | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| 2-Propanol | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| Toluene | 1040000 | 43500 | 522000 | 21700 |
| 1,1,1-Trichloroethane | 157000 | 6500 | 78300 | 3250 |
| m-p-Xylene | 260840 | 10868 | 130420 | 5434 |
| Dichloromethane | 156504 | 6521 | 78252 | 3261 |
| Decamethylcyclotetrasiloxane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| p-Dichlorobenzene | 2240000 | 93000 | 1120000 | 46500 |
| Ethyl acetate | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| n-Decane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| Branched C10 | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| n-Undecane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| n-Dodecane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| n-Pentadecane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| n-Hexadecane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| n-Tetradecane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| 1,2,4-Trimethylbenzene | 120000 | 5020 | 60200 | 2510 |
| Octamethylcyclotetrasiloxane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| Ethylbenzene | 1040000 | 44000 | 520000 | 22000 |
| Nonanal | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| 2-Butanone | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| Benzene | 2230000 | 93000 | 1120000 | 46500 |
| Tetrachloroethylene | 157000 | 6500 | 78300 | 3250 |
| o-Xylene | 15700 | 650 | 7850 | 325 |
| n-Hexane | 15700000 | 652000 | 7820000 | 326000 |
| 1,2-Dichloroethylene | 636 | 27 | 318 | 13 |
| Camphene | 174 | 7.2 | 87 | 3.6 |
| Isoprene | 13 | 0.54 | 6.5 | 0.27 |
| d-Limonene | 0.75 | 0.03 | 0.37 | 0.02 |
| a-Pinene | 1.80 | 0.08 | 0.90 | 0.04 |
| Styrene | 7.25 | 0.30 | 3.62 | 0.15 |

Tabla 2.2. Vida media de COV's para las reacciones con ozono. (Weschler, 2000)

En la tabla 2.1 se observa la velocidad con que reaccionan con el ozono mientras que en la tabla 2.2 se observa la vida media de estos compuestos en presencia de ozono. En la parte inferior de ambas tablas se encuentran un grupo de compuestos que reaccionan a una velocidad considerable con respecto a los demás de la lista, estos compuestos forman un grupo de COV's cuyas reacciones con el ozono son capaces de competir con el intercambio de aire, esto son: canfeno, isopreno, 1,2-dicloroetileno, d-limoneno y estireno. En el artículo escrito por Weschler comenta que la característica que todos estos comparten es que cada uno de ellos contiene uno o más enlaces no saturados carbono-carbono, en donde el ozono reacciona justo en estos puntos de insaturación. Esta reacción se lleva a cabo debido a la aparición del ion ozónido el cual rápidamente reacciona con los compuestos, para así generar dos posibles reacciones, entre las cuales se genera un carbonilo y un bi-radical (Atkinson, Tuazon & Aschmann, 1995).



O esquemáticamente se vería de la siguiente manera:

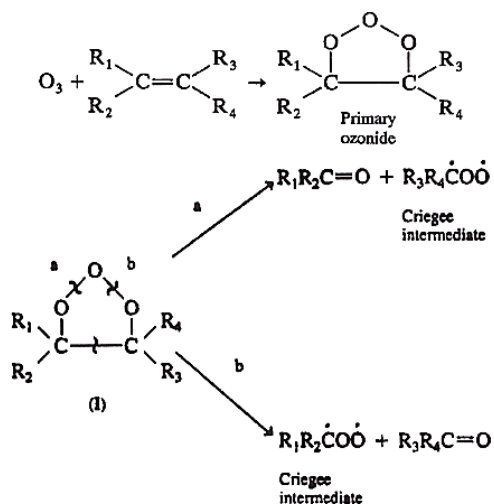


Figura 2.1. Mecanismo de reacción de ozono con alquenos.

Durante esta reacción se generan diversas especies como hidroxilo, aldehídos, cetonas y ácidos orgánicos. Estudios llevados a cabo por Weschler y Shields en

1996 y 1997 demuestran que la generación de radicales hidroxilos propicia varias reacciones subsecuentes junto con otros contaminantes del aire para la generación de compuestos que contienen $-C=O$ (carbonilos) y $-COOH$ (carboxilatos).

Con relación a la tabla 2.1 y tabla 2.2 se observa que el ozono en concentraciones menores a 0.05 ppm no reacciona con la mayoría de los compuestos orgánicos volátiles que se encuentran comúnmente en el aire de interiores. Sin embargo, es importante recalcar que en algunos casos los productos generados mediante estas reacciones pueden llegar a ser mucho más irritantes que sus precursores.

El ozono tiene una muy baja influencia sobre la concentración de partículas suspendidas. Esto debido a múltiples factores. La frecuencia de colisiones entre las partículas y el ozono es relativamente baja en comparación a la frecuencia que existe entre el ozono y los gases que se encuentran en interiores. También la cantidad de partículas suspendidas en un volumen de aire determinado disminuye conforme el tamaño de las partículas aumenta. “Para partículas en el rango entre 0.1 - 0.2 μm de diámetro, las concentraciones en interiores son generalmente entre 300 - 500 partículas/ cm^3 . Para partículas dentro de un rango entre 0.5 – 0.6 μm de diámetro, las concentraciones se encuentran entre 0.03 – 0.05 partículas/ cm^3 . En comparación con las moléculas por centímetro cúbico, a una concentración de 0.005 ppm de un COV la concentración de moléculas es de 1×10^{11} moléculas/ cm^3 ” (Finlayson-Pitts & Pitts, 1986). Además, es importante agregar que tal como en el caso de los compuestos orgánicos volátiles las reacciones con el ozono son demasiado lentas en comparación con la velocidad que ocurre el intercambio de aire, se debe tomar en cuenta que las partículas suspendidas están formadas por un gran número de moléculas, por lo tanto, se requeriría de un gran número de reacciones para así poder modificar la naturaleza y la cantidad de las partículas suspendidas.

Ozono y superficies.

Como se mencionó en el punto anterior el ozono generalmente es removido mediante la reacción y descomposición de diferentes compuestos químicos. Estos compuestos generalmente se encuentran localizados en las superficies de los

objetos, es importante considerar la humedad relativa, ya que esta desempeña un factor importante debido a que existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de deposición y la humedad relativa. Cuando existe mayor humedad en el ambiente la velocidad en la deposición de ozono también aumenta, y esto genera que las velocidades de remoción aumenten. A pesar de ello, la intensidad de esto fenómeno depende completamente de la superficie, ya que las superficies que son hidrofílicas presentan un mayor efecto.

La remoción de ozono es generalmente proporcional a la concentración de ozono y a un coeficiente de reacción de primer orden llamado k , el cual es expresado por la siguiente ecuación (Fischer et al., 2013).

$$k = \sum V_{di} S_i / V$$

En donde:

S_i , es el área de superficie

V_{di} , es la velocidad de deposición característica de la superficie

V , es el volumen total del lugar de medición

Como se había mencionado anteriormente, el ozono es removido mediante la reacción y absorción que este tiene con diferentes superficies. En la tabla 2.3 se observan algunas constantes de remoción en diferentes ambientes de interiores, los cuales variarán de acuerdo con los materiales de los cuales estos lugares estén hechos.

| Indoor environment | Surface removal rate, $k_d(A/V), h^{-1}$ | Reference |
|---|---|--|
| Aluminum Room (11.9 m ³) | 3.2 | Mueller et al., 1973 |
| Stainless Steel Room (14.9 m ³) | 1.4 | Ibid. |
| Bedroom (40.8 m ³) | 7.2 | Ibid. |
| Office (55.2 m ³) | 4.0 | Ibid. |
| Home (no forced air) | 2.9 | Sabersky et al., 1973 |
| Home (forced air) | 5.4 | Ibid. |
| Department Store | 4.3 | Thompson et al., 1973 |
| Office (24.1 m ³) | 4.0 | Allen et al., 1978 |
| Office (20.7 m ³) | 4.3 | Ibid. |
| Office/Lab | 4.3 | Shair and Heitner, 1974 |
| Office/Lab | 3.2 | Ibid. |
| Office/Lab | 3.6 | Ibid. |
| 13 Buildings, 24 Ventilation Systems | 3.6 | Shair, 1981; assumes $A/V = 2.8 m^{-1}$ |
| Museum | 4.3 | Nazaroff and Cass, 1986 |
| Museum | 4.3 | Ibid. |
| Office/Lab | 4.0 | Weschler et al., 1989 |
| Office/Lab | 3.2 | Ibid. |
| Office | 2.5 | Ibid. |
| Lab | 2.5 | Ibid. |
| Cleanroom | 7.6 | Ibid. |
| Telephone Office | 0.8-1.0 | Weschler et al., 1994; large office, small A/V |
| 43 Homes | 2.8±1.3 | Lee et al., 1999 |

Tabla 2.3.
Constantes de Remoción de Ozono en (h^{-1}) por superficies en diferentes ambientes de interiores. (Weschler, 2000)

Deposition velocities of ozone on selected materials and in the presence of human occupants.

| Material | v_d (cm s ⁻¹) | Note | Reference |
|----------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| Glass | 0.0001 | RH 30% | Grøntoft and Raychaudhuri, 2004 |
| Ceramic tiles | 0.004 | Unglazed flooring tiles | Hoang et al., 2009 |
| Linoleum_C | 0.007 | Age >12 month | Klenø et al., 2001 |
| Finished hard wood floor | 0.019 | Hardwood composite | Lamble et al., 2011 |
| latex paint | 0.019 | Acrylic latex | Lamble et al., 2011 |
| Painted gypsum board K | 0.042 | Acrylic binding agent | Klenø et al., 2001 |
| Perlite ceiling tile | 0.058 | Perlite | Lamble et al., 2011 |
| Unpainted gypsum wallboard | 0.07 | | Kunkel et al., 2010 |
| Mineral fiber ceiling tile | 0.19 | Mineral fibers, binders | Lamble et al., 2011 |
| Clay paint | 0.21 | Clay based paint | Lamble et al., 2011 |
| Painted gypsum board J | 0.67 | Vinyl acetate binding agent | Klenø et al., 2001 |
| Soiled cotton | 0.41 | Fabric soiled with skin oils | Coleman et al., 2008 |
| Soiled wool | 0.37 | Fabric soiled with skin oils | Coleman et al., 2008 |
| Soiled polyester | 0.46 | Fabric soiled with skin oils | Coleman et al., 2008 |
| Human occupants | 0.22 | Passengers; simulated aircraft cabin ^a | Tamás et al., 2006 |
| T-shirts | 0.23 | Used t-shirts; simulated aircraft cabin ^a | Tamás et al., 2006 |
| Human occupants | 0.45 | 2 persons; simulated office ^a | Wisthaler and Weschler, 2010 |
| Children | 0.45 | | This work |

^a Average of two values.

Tabla 2.4. Velocidades de deposición de ozono en materiales seleccionados y en la presencia de humanos. (Fischer et al., 2013)

En la tabla 2.4 también se agregan algunos datos sobre la velocidad de deposición del ozono sobre diferentes materiales. En esta tabla se observa al final la velocidad de deposición de ozono en niños, lo cual nos hace empezar a pensar sobre el impacto que esta molécula tiene sobre la piel del ser humano.

2.4 Efectos del ozono en el ser humano.

Los humanos en general actúan como removedores de ozono, esto mediante la piel, el cabello y la ropa que utilizamos. Sin embargo, uno de los puntos en donde mayormente se deposita el ozono es en la piel.

La piel es el órgano más grande que posee el cuerpo humano, este tiene diversas funciones entre las cuales destacan la protección contra la luz, el calor, las infecciones, regular la temperatura corporal e impedir el acceso de bacterias. Algunas de estas funciones las lleva a cabo gracias que nuestra piel está cubierta de una capa de lípidos que consiste en ácidos grasos no esterificados y escualeno,

el cual es un hidrocarburo polinsaturado (Nicolaidis, 1974). Estos compuestos que se encuentran en la piel tienen enlaces carbono-carbono, no saturados los cuales se había mencionado anteriormente son altamente reactivos con el ozono.

En un estudio realizado en Suecia, en donde se midió el ozono removido por las personas dentro de un salón de clases se buscó demostrar que la piel era altamente reactiva al ozono. En este estudio el salón de clases tenía un volumen de 183 m³, tenía dos puertas de acceso, y cuatro ventanas en la misma pared.

Durante el estudio los investigadores descubrieron que cuando los niños estaban presentes dentro del salón de clases la concentración en los niveles de ozono disminuía mientras que los niveles de dióxido de carbono aumentaban, cuando los niños abandonaban el salón de clases pasaba el efecto contrario en donde aumentaban los niveles de ozono y disminuían los niveles de dióxido de carbono (Fischer et al., 2013). Con este estudio los investigadores se dieron cuenta que el ozono no solo afecta a los materiales en donde se absorbe, sino también afecta directamente a la salud de los humanos mediante este mismo proceso. Dentro de sus conclusiones ellos argumentan que la remoción de ozono varía de persona a persona y que es inevitable que la presencia de los humanos propicie reacciones con el ozono, las cuales pueden llegar a afectar dermatológicamente al ser humano.

El ozono al ser una molécula altamente oxidante tiene la capacidad no solo de reaccionar con los lípidos que se encuentran en la piel, sino también es capaz de reaccionar con algunas moléculas antioxidantes que se encuentran en la piel, entre las cuales se encuentran la vitamina E, la ubiquinona, la vitamina C, glutatión reducido, ácido úrico entre otras. Algunos estudios demuestran que uno de los órganos más afectados mediante este tipo de reacciones es el estrato corneo, en donde la exposición a dosis altas ozono (10ppm por dos horas) demostró que se reducía en más de dos tercios la cantidad de vitamina E, también al hacer la determinación en diferentes antioxidantes a condiciones más bajas (1ppm de ozono por dos horas) determinaron que este era capaz de disminuir en un 80 % los valores de vitamina C, 40% los de glutatión y en 45% los de ácido úrico (Pons, L, 2004).

Además de estos efectos, el ozono también se encuentra relacionado con diversos daños a la salud, en donde la gravedad de estos dependerá de la concentración en el aire, de la dosis inhalada, del tiempo y la frecuencia de exposición. Además de que es importante recalcar que los niños son más susceptibles a los niveles de ozono, esto debido a que los niños ingieren mayor cantidad de aire que los adultos y su sistema respiratorio continúa en desarrollo (Ayotamuno et al., 2013).

Diferentes estudios experimentales han demostrado que el ozono está relacionado con diferentes daños a la salud, donde estos pueden llegar a ser tanto crónicos como agudos. Como se mencionó anteriormente el ozono debido a su poder oxidante es capaz de agotar los recursos antioxidantes en el organismo, además de que, debido a la capacidad que tiene de absorberse en medios con mayor humedad ataca principalmente a las mucosas, en donde los productos generados mediante las diferentes reacciones pueden llegar a generar productos los cuales son capaces de amplificar el daño biomolecular y debido a esto la afectación de otros órganos.

Las diferentes investigaciones han revelado que el ozono tiene efectos graves a la salud donde la mayoría de los reportes apuntan a que los sistemas mayormente afectados son el respiratorio y cardíaco. Sin embargo, estos efectos también pueden derivar en el deterioro de la función pulmonar, cefaleas, disfunción respiratoria y alteraciones en el sistema inmunológico. Además de que es importante mencionar que se han observado mediante algunos estudios que las personas que presentan enfermedades que se encuentran relacionadas a los mediadores de inflamación y el estrés oxidativo como en las enfermedades cardiovasculares y/o cerebrovasculares, se ven agudizadas.

La exposición a cantidades elevadas de ozono genera inflamación, lo cual podría producir irritación ocular, daño de las vías respiratorias y daño del epitelio bronquial. Al producir daño en los bronquios se establece una relación entre la dosis recibida de ozono y el grado de lesión epitelial, esto debido a que las células alveolares de tipo I, son más susceptibles a los efectos del ozono y pueden sufrir de necrosis y/o apoptosis lo cual genera un gran peligro para las personas que se encuentran expuestas a elevados niveles de ozono, debido a que estas células no pueden

replicarse. Las células tipo I son las células que se encuentran extendidas en mayor cantidad a lo largo del alvéolo para así aumentar la exposición del intercambio gaseoso, es también por esta razón que presentan un mayor daño, debido a que se encuentran bajo un mayor nivel de exposición. Las células de tipo II, las cuales son las responsables de secretar el surfactante pulmonar, para así disminuir la tensión superficial del agua y formar una capa fina que recubra toda la superficie alveolar son más resistentes y proliferan incluso durante la exposición continua a este gas (Plopper, Chow, Dungworth, Brummer & Nemeth, 1978).

Otros investigadores hacen una demostración acerca de la inflamación en las vías respiratorias que genera la ingesta de ozono mediante la medición en la concentración de óxido nítrico en el aire exhalado. En donde demostraron que los niveles de óxido nítrico aumentan cuando se presenta algún tipo de inflamación en las vías respiratorias. Sin embargo, los investigadores aseguran que esta elevación en la concentración del óxido nítrico no se encuentra relacionado con más síntomas respiratorios (Olin et al., 1999).

Los efectos causados por el ozono también pueden llegar a afectar al ser humano a nivel genético, esto debido a que afectan directamente a la metilación del ácido desoxirribonucleico, lo cual genera una expresión alterada de los genes. Este efecto ha sido observado en las células del sistema inmunológico, en donde este efecto ha sido reflejado mediante incrementos en la incidencia de asma. Algunos investigadores reportaron que niños que vivían en una zona contaminada por ozono tenían tres veces más riesgo de tener asma en comparación con los niños que vivían en una zona sin contaminación por ozono (Sousa et al., 2011).

Con respecto a los efectos generados por el ozono al corazón, fue reportado que las personas que estuvieron en contacto directo con niveles elevados de ozono aumentaron su riesgo a enfermedades relacionadas con estrés oxidativo e inflamación, lo cual apunta a que se tiene un mayor riesgo a tener arterioesclerosis y enfermedades cardiovasculares en el futuro (Elango, Kasi, Vembhu & Poornima, 2013). Esto se debe a que se encontraron niveles más elevados de hematocrito, el cual se refiere al volumen de células rojas expresado como un porcentaje del

volumen total de toda la sangre este se encuentra generalmente entre los porcentajes de 40% y 50%, este aumento se encuentra relacionado con un incremento en el riesgo de tener fallo cardiaco a largo plazo. Durante ese mismo estudio también detectaron que los niveles de albumina de los operadores de fotocopiadoras estaban significativamente reducidos y que los niveles de la globulina sérica se encontraban elevados. Cuando los niveles de albumina se encuentran disminuidos otros riesgos asociados a la inflamación y a los riesgos cardiovasculares se ven aumentados, además de que el incremento en la globulina sérica está directamente relacionado con una respuesta del sistema inmune.

Otro estudio, se dedicó a analizar la contribución de exposición de ozono al riesgo por muerte a causa de enfermedades cardiopulmonar y específicamente a la muerte por causas respiratorias. Para realizar dicho estudio se basaron en dos modelos, en donde para el primer modelo solo se consideraron los efectos de un solo contaminante y para el segundo modelo se estudiaron los efectos de dos contaminantes simultáneos los cuales fueron ozono y $PM_{2.5}$. Durante ese estudio se observó que, en el modelo de un solo contaminante, la exposición de ozono esta significativamente correlacionada con un incremento en el riesgo debido a muerte por enfermedades cardiopulmonares. Encontraron que un incremento en la exposición de ozono de 0.01 ppm eleva el riesgo de muerte relacionada con causas cardiopulmonares, causas cardiovasculares, enfermedad isquémica del corazón, y causas respiratorias.

Sin embargo, el modelo de dos contaminantes, en donde se consideraba la combinación de ozono y $PM_{2.5}$, descubrieron que el riesgo de muerte debido a causas cardiovasculares estaba relacionado con las $PM_{2.5}$ mientras que el ozono se encontraba relacionado con el riesgo de muerte debido a causas respiratorias. Los investigadores llegaron a la conclusión de que por cada 0.01 ppm se aumentaba el riesgo de muerte debido a causas respiratorias en 2.9% en el modelo de un solo contaminante, mientras que para el modelo de dos contaminantes el riesgo aumenta a 4% (Jerrett et al., 2009). Los investigadores argumentan que a pesar de que no parece ser un incremento muy grande, el riesgo de morir a causa de enfermedades respiratorias es tres veces mayor en áreas urbanas con una alta concentración de

ozono en comparación a zonas cuyas concentraciones de ozono son menores. Sus estudios demostraron también que factores como el sexo, el índice de masa corporal, nivel educativo, o la concentración de PM_{2.5} no afectaban significativamente los efectos del ozono y el riesgo de muerte debido a causa de enfermedades respiratorias.

| Concentración de Ozono, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Síntomas |
|--|-------------------|
| 100 | Dolor de Cabeza |
| 300 | Irritación Ocular |
| 540 | Toser |
| 580 | Dolor Torácico |

Tabla 2.5. Malestares a diferentes concentraciones de ozono. (Valuntaitė & Girgždienė, 2007)

En la tabla anterior se observan algunos de los efectos que genera el ozono y a que concentraciones pueden darse algunas dolencias físicas.

2.5 Casos de Estudio

Con base en lo mencionado anteriormente existen varios reportes epidemiológicos que han sido reportados dentro de la NOM-020-SSA1-2014 realizados por diferentes instituciones, los cuales ayudan a respaldar las investigaciones. En esta norma informan acerca de estos casos, en uno de ellos se reportó que concentraciones cercanas a 0.050 ppm favorecen el incremento de 43% al 133% en las visitas a consultas de urgencias por el incremento en asma en población infantil de 1 a 4 años. Asimismo, se reportó que en concentraciones de 0.040 a 0.050 ppm existe un aumento del 19.1% al 35% en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias agudas en menores de 2 años (Barraza-Villarreal et al., 2008). Ciudad Juárez reportó un aumento del 2.96% en consultas por infecciones respiratorias en menores a 15 años, un día después de haberse presentado un incremento de 0.020 ppm en la concentración de ozono (Hernández-Cadena et al., 2000). De igual manera otro estudio realizado en Ciudad Juárez reportó que un

incremento en la concentración horaria máxima de ozono de 0.020 ppm se asoció con un aumento de 8.3% en el número de consultas por afecciones de vías respiratorias superiores después de tres días (Burnett, 2007). Estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos reportaron que las personas que viven en comunidades con niveles elevados en la concentración de ozono experimentan un mayor decremento en la función pulmonar en el curso de cinco años, en comparación con aquellas personas que viven en comunidades en donde los niveles de ozono son menores (U.S. EPA, 2012). Estos estudios sugieren que la exposición con ozono puede ocasionar fallas en la función pulmonar y puede ocasionar cambios estructurales en el pulmón a largo plazo. También se descubrió que un incremento en 0.1 ppm en la concentración de ozono a nivel de piso estaba asociada a un incremento en 0.53% en la tasa de mortalidad; este porcentaje corresponde a 3767 muertes anuales en ciudades en Estados Unidos (Mundel, 2004).

A través de los diferentes estudios que se han realizado con respecto a los efectos que tienen el ozono sobre la salud, se ha observado que los efectos son mayores en personas de 65 años y más, así como en menores de 15 años. En donde se mostró que un incremento de 0.04 ppm en los niveles de concentración de ozono generó un incremento en la tasa de mortalidad de 5.6 % para personas de 65 años y más. En comparación con estos datos se presentó un 2.78 % en el incremento en la tasa de mortalidad infantil cuando se generaba un aumento en la concentración de los niveles de ozono de 0.010 ppm.

Sin embargo, estos rangos de edad no son los únicos afectados debido al incremento en los niveles de ozono, ya que, como demostraron otras investigaciones estos incrementos pueden contribuir a aumentar las afecciones pulmonares y cardiovasculares en personas que no pertenecen a estos mismos rangos de edad. Es por esta razón por la cual diferentes instituciones alrededor del mundo han establecido los valores límites permisibles para la concentración del ozono.

2.6 Límites máximos permisibles de ozono en México y el mundo.

Debido a que el ozono es un gas tóxico y puede causar deterioro en diversos materiales, diversas entidades a lo largo del mundo se han encargado de establecer los límites máximos para las concentraciones de ozono a las cuales la población se encuentra expuesta. Esto para proteger la salud de las personas que se encuentran en contacto directo con este gas.

En México uno de los organismos encargados de establecer dichos límites es la secretaría de salud, en donde a través de la NOM-020-SSA1-2014 establece los valores límite para la concentración de ozono en el aire ambiente y los criterios para su evaluación. En esta norma se determinó que la concentración promedio móvil de ozono deberá ser menor o igual a 0.095 ppm como promedio horario. De igual manera la concentración del promedio móvil de 8 horas de ozono deberá ser menor o igual a 0.070 ppm. Estas mediciones se deberán reportar en ppm con tres cifras decimales significativas. Para asegurar la representatividad estadística de las concentraciones de ozono, la norma exige que se deberán cumplir con los siguientes criterios:

1. Concentración Horaria. - al menos 75 % de los registros de minutos en 1 hora.
2. Concentración del promedio de 8 horas. - al menos 6 horas con concentraciones horarias.
3. Concentración diaria. - al menos el 75% de los valores de las concentraciones horarias o concentraciones de los promedios móviles de 8 horas.

La norma establece que para que un sitio de monitoreo cumpla con el límite de una hora, cada una de las concentraciones horarias deberán ser menores o iguales que 0.095 ppm. En caso de que al menos una de las concentraciones horarias sea mayor que 0.095, se incumplirá la norma. De igual manera, establece que para cumplir con el promedio móvil de 8 horas el valor máximo deberá ser menor o igual a 0.070 ppm. En caso de que al menos una de las concentraciones de los promedios móviles de 8 horas sea mayor que 0.070 ppm, se incumplirá la norma.

El organismo encargado de establecer los límites máximos permisibles para el aire de interiores es la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, en donde a través de la NOM-010-STPS-1999 establece que el límite máximo permisible de exposición de ozono para un trabajador durante una jornada de 8 horas será de 0.1 ppm. Mientras que el valor para el límite máximo permisible de exposición de corto tiempo el cual es equivalente a 15 min, será de 0.2 ppm.

| <i>Estándar</i> | <i>Concentración, ppm</i> | <i>Duración, h</i> |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|
| <i>US NAAQS^a</i> | 0.120 | 1 |
| <i>US NAAQS^a</i> | 0.08 | 8 |
| <i>US OSHA^b</i> | 0.100 | 8 |
| <i>US FDA^c</i> | 0.05 | d |
| <i>US NIOSH</i> | 0.100 | d |
| <i>OMS</i> | 0.06 | 8 |
| <i>Japón</i> | 0.06 | 1 |
| <i>Lituania</i> | 0.100 | 8 |
| <i>México - SSA</i> | 0.095 | 1 |
| <i>México -STPS</i> | 0.1 | 8 |

Tabla 2.6. Límites recomendados de ozono alrededor del mundo. (Weschler 2000).

^a National Air Quality Standard

^b Occupational Safety and Health Administration

^c Food and Drug Administration

^d No exceder en ningún momento.

En la tabla anterior se hace una recopilación de diversas fuentes, en donde se exponen diferentes límites máximos permisibles para los niveles de ozono de México y alrededor del mundo.

Capítulo 3

3.1 Justificación

Con respecto a lo expuesto anteriormente, se hace evidente que es necesario medir los niveles de ozono, ya que, como varios organismos alrededor del mundo lo han establecido, este gas puede generar daños a la salud de la gente que se encuentra en contacto con él. Además de que algunos de los efectos que generan sobre el cuerpo humano pueden desencadenar una serie de enfermedades que aumenten el riesgo de mortalidad de las personas.

La presente investigación busca determinar si los niveles de ozono a los que se encuentran expuestos los trabajadores del centro de fotocopiado del centro de ciencias de la atmósfera se encuentran por debajo de los niveles establecidos mediante la normatividad nacional e internacional para así con esto poder determinar si los operadores de este centro se encuentran bajo un potencial riesgo que pudiera afectar su salud a corto o largo plazo.

3.2 Hipótesis

Evaluar la exposición del personal de un centro de fotocopiado a ozono de interiores mediante un medidor de ozono portátil y su comparación con los límites máximos permisibles con las normas nacionales e internacionales.

Capítulo 4

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se dividió la metodología en dos partes, en la cual la primera estuvo dedicada a revisar la calibración del equipo AEROQUAL haciendo uso de la toma de medición del Centro de Ciencias de la Atmósfera de Ciudad Universitaria. Mientras que la segunda parte fue utilizada para llevar a cabo las mediciones dentro del centro de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmósfera en Ciudad Universitaria.

4.1 Funcionamiento del equipo

El equipo AEROQUAL 500 es un equipo diseñado para hacer mediciones de diferentes gases en el ambiente. Se requieren de diferentes cabezales para cada gas en específico, e incluso para concentraciones bajas y altas. Para este proyecto se utilizó el cabezal de configuración tipo 1, además de que era un cabezal de ozono para bajas concentraciones (0.000-0.500 ppm). Este cabezal cuenta con la tecnología de GSS (Gas Sensitive Semiconductor) por sus siglas en inglés, las cuales significan semiconductor sensible al gas.

El funcionamiento de este sistema se basa en la propiedad que tienen algunos metales, que al oxidarse generan un cambio en la resistencia eléctrica que estos presentan a la presencia de algún gas en específico. El cambio en la conductividad se genera a través de la reacción de las moléculas de oxígeno con la superficie del metal (Aeroqual, 2019).



Figura 4.1. Equipo AEROQUAL serie 500



Figura 4.2. Cabezal de tipo 1 para el equipo AEROQUAL

4.1 Primera Parte experimental.

A pesar de que en el la guía del usuario del equipo comenta que no es necesario realizar una calibración formal del equipo, se decidió hacer un procedimiento experimental inicial para determinar en qué estado se encontraba el cabezal del equipo, ya que, este podía haber disminuido su funcionalidad a lo largo de los años debido a la exposición al aire y al polvo. Para llevar a cabo este procedimiento experimental se tomó un sistema de referencia para hacer la comparación de los datos, el sistema de referencia que se seleccionó fue el equipo de la red automática de monitoreo atmosférico, el cual es un equipo fijo de monitoreo continuo situado en el CCA.

Para hacer dicha experimentación se colocó el equipo portátil (AEROQUAL) a la misma altura que la toma del equipo de monitoreo fijo del CCA y se mantuvo en esa misma posición durante treinta minutos, se configuró el equipo de tal manera que registrara los datos cada minuto y los descargara al software de la computadora y generara también una gráfica de dichas mediciones. Para recopilar los datos del CCA se revisó cada minuto la pantalla del equipo de monitoreo fijo y los datos fueron apuntados manualmente, para posteriormente ser descargados en una base de datos. Dichos procedimientos se realizaron durante cinco días distintos entre los meses de febrero y mayo. Se registró cada uno de los días en una bitácora, la cual se encuentra en el apéndice de dicho texto para su consulta.

Para el tratamiento de datos, lo primero que se realizó fueron tablas en las cuales se registraron los datos generados mediante el equipo de medición fijo del CCA y los datos generados por el equipo portátil, se hicieron cinco tablas con dichos resultados en donde se registraban las horas de medición y la concentración alcanzada en ese momento. Se obtuvo el promedio de las columnas y posteriormente se dividieron dichos valores entre sí, para así establecer una razón entre los valores del equipo fijo del CCA y los valores registrados por el equipo portátil. Se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Valor Promedio del Centro de Investigación}}{\text{Valor Promedio del Equipo}} = \text{Razón}$$

Con esta razón se analizó que tan separados se encontraban los datos entre sí. Las divisiones de promedios solo se realizaron entre los datos que habían sido registrados el mismo día.

Dichos resultados también fueron analizados a través de un diseño de bloques completamente al azar sin repeticiones, para así poder realizar la prueba de análisis de la varianza (ANOVA) para cada grupo de datos obtenidos, y así poder probar los promedios de todas las muestras a través de sus varianzas. Se utilizó dicha técnica debido a que esta permite determinar si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes, lo cual nos permite hacer una comparación entre los valores obtenidos por el equipo fijo del CCA y los valores obtenidos por el equipo portátil, se usó este método debido a que este divide a los datos en grupos homogéneos para facilitar su análisis. En este análisis se definió a la concentración de ozono medida como la variable dependiente y al día como la variable independiente, de igual manera los diferentes días fueron los bloques asignados para el desarrollo de dicho diseño experimental.

Dicho procedimiento experimental utiliza el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} : Medición correspondiente al tratamiento i, j.

μ : Es la media global

α_i : Efecto del factor A

β_j : Efecto del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción

ε_{ij} : Es el error o residuo.

Para realizar esta prueba se calcularon los promedios por día de los valores de concentración del equipo fijo y del equipo portátil y se utilizaron estos valores para introducirlos al modelo estadístico y con esto hacer la determinación de si las hipótesis planteadas se aceptaban o se rechazaban. En caso de rechazar la hipótesis nula se avanzaría a hacer una prueba de DUNCAN para así poder determinar cuál o cuáles de las medias no cumplen la hipótesis nula.

Las hipótesis planteadas para cada uno de los tratamientos son:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 = \text{Al menos una } \mu \text{ difiere}$$

Al finalizar dichas evaluaciones, se prosiguió con el segundo procedimiento experimental, el cual consistió en hacer muestreos en campo.

4.2 Segunda Parte Experimental

Para la segunda parte experimental, se hizo un levantamiento arquitectónico del centro de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmósfera, para así con esta información ubicar la zona en la cual se encuentran las fotocopiadoras y así poder determinar el mejor lugar para colocar el equipo portátil y con esto poder tener mediciones más confiables. De igual manera se hizo un registro de los materiales de construcción del centro de fotocopiado y del número y posición de ventilaciones que existen dentro de dicha área.

Posteriormente se hizo un registro de los equipos de fotocopiado que utilizaban en dicho centro de fotocopiado y con eso se generó una tabla de reconocimiento de equipos en donde se apuntó marca del equipo, modelo del equipo, año de fabricación del equipo y si habían recibido mantenimiento en los últimos 6 meses.

Finalmente se colocó el equipo portátil en un lugar en específico dentro del centro de fotocopiado durante 5 días por un lapso de 5 horas continuas para así poder hacer las mediciones de las concentraciones de ozono que liberan estos equipos de fotocopiado. La información detallada de cada uno de los días experimentales se encuentra en la bitácora del apéndice de dicho escrito.

Al finalizar dicho procedimiento experimental se generaron una serie de tablas y gráficas para proceder con el análisis de dichos resultados y con esto hacer la determinación sobre cuál es la concentración máxima a la que se encuentran expuestos los trabajadores de este lugar y si dicha concentración se encuentra dentro de los parámetros o por encima de los niveles máximos permisibles reportados por la normatividad nacional e internacional.

Capítulo 5

Resultados

5.1 Primera parte experimental

Al finalizar el tratamiento de datos de la primera parte experimental se generó una serie de tablas en donde se colocaron todos los valores obtenidos durante los cinco días de mediciones.

En dichas tablas se observan los datos reportados para el equipo portátil y para el equipo fijo ambos en ppb, cada uno a la respectiva hora de registro del dato y al final de la tabla se registró el valor promedio para cada uno de los instrumentos de medición.

Tabla 5.1. Mediciones de la concentración de ozono para el 25 de febrero de 2019.

| Día 1 | | | Día 1 | | |
|----------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo | Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo |
| Hora | ppb | ppb | Hora | ppb | ppb |
| 13:28 | 71 | - | 13:47 | 84 | - |
| 13:29 | 71 | - | 13:48 | 84 | - |
| 13:30 | 71 | 72 | 13:49 | 106 | - |
| 13:31 | 71 | - | 13:50 | 106 | 80 |
| 13:32 | 88 | - | 13:51 | 106 | - |
| 13:33 | 88 | - | 13:52 | 106 | - |
| 13:34 | 88 | - | 13:53 | 9 | - |
| 13:35 | 88 | - | 13:54 | 9 | - |
| 13:36 | 35 | - | 13:55 | 9 | 77 |
| 13:37 | 35 | - | 13:56 | 9 | - |
| 13:38 | 35 | - | 13:57 | 29 | 82 |
| 13:39 | 35 | - | 13:58 | 29 | - |
| 13:40 | 35 | 78 | 13:59 | 29 | - |
| 13:41 | 100 | - | 14:00 | 86 | 84 |
| 13:42 | 100 | - | 14:01 | 86 | - |
| 13:43 | 100 | - | 14:02 | 86 | - |
| 13:44 | 100 | - | 14:03 | 86 | - |
| 13:45 | 84 | - | 14:04 | 86 | - |
| 13:46 | 84 | - | 14:05 | 36 | 83 |
| | | | Promedio | 67 | 79 |

Tabla 5.2. Mediciones de la concentración de ozono para el 4 de marzo de 2019.

| Día 2 | | |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo |
| Hora | ppb | ppb |
| 14:08 | 24 | 47 |
| 14:09 | 24 | 48 |
| 14:10 | 24 | 48 |
| 14:11 | 24 | 47 |
| 14:21 | 24 | 41 |
| 14:22 | 24 | 41 |
| 14:23 | 24 | 42 |
| 14:24 | 24 | 42 |
| 14:25 | 8 | 43 |
| 14:26 | 8 | 43 |
| 14:27 | 8 | 43 |
| 14:28 | 8 | 42 |
| 14:29 | 2 | 39 |
| 14:30 | 2 | 40 |
| 14:31 | 2 | 41 |
| 14:32 | 2 | 41 |
| 14:33 | 22 | 42 |
| 14:34 | 22 | 39 |
| 14:35 | 22 | 36 |
| 14:36 | 22 | 36 |
| 14:37 | 22 | 37 |
| 14:38 | 0 | 35 |
| Promedio | 15 | 42 |

Tabla 5.3. Mediciones de la concentración de ozono para el 6 de marzo de 2019.

| Día 3 | | | Día 3 | | |
|----------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo | Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo |
| Hora | ppb | ppb | Hora | ppb | ppb |
| 14:20 | 68 | 90 | 14:38 | 41 | 89 |
| 14:21 | 68 | 89 | 14:39 | 115 | 90 |
| 14:22 | 68 | 89 | 14:40 | 115 | 91 |
| 14:23 | 91 | 89 | 14:41 | 115 | 88 |
| 14:24 | 91 | 87 | 14:42 | 115 | 85 |
| 14:25 | 91 | 85 | 14:43 | 11 | 85 |
| 14:26 | 91 | 88 | 14:44 | 11 | 91 |
| 14:27 | 5 | 88 | 14:45 | 11 | 90 |
| 14:28 | 5 | 86 | 14:46 | 11 | 91 |
| 14:29 | 5 | 86 | 14:47 | 45 | 93 |
| 14:30 | 5 | 88 | 14:48 | 45 | 94 |
| 14:31 | 194 | 86 | 14:49 | 45 | 87 |
| 14:32 | 194 | 86 | 14:50 | 45 | 82 |
| 14:33 | 194 | 87 | 14:51 | 101 | 82 |
| 14:34 | 194 | 89 | 14:52 | 101 | 89 |
| 14:35 | 41 | 89 | 14:53 | 101 | 84 |
| 14:36 | 41 | 90 | 14:54 | 101 | 75 |
| 14:37 | 41 | 90 | Promedio | 75 | 88 |

Tabla 5.4. Mediciones de la concentración de ozono para el 8 de mayo de 2019.

| Día 4 | | | Día 4 | | |
|----------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo | Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo |
| Hora | ppb | ppb | Hora | ppb | ppb |
| 14:35 | 37 | 64 | 14:53 | 120 | 67 |
| 14:36 | 37 | 65 | 14:54 | 120 | 67 |
| 14:37 | 37 | 66 | 14:55 | 14 | 67 |
| 14:38 | 37 | 67 | 14:56 | 14 | 66 |
| 14:39 | 25 | 67 | 14:57 | 14 | 65 |
| 14:40 | 25 | 66 | 14:58 | 14 | 65 |
| 14:41 | 25 | 66 | 14:59 | 84 | 65 |
| 14:42 | 25 | 67 | 15:00 | 84 | 66 |
| 14:43 | 94 | 67 | 15:01 | 84 | 66 |
| 14:44 | 94 | 68 | 15:02 | 84 | 66 |
| 14:45 | 94 | 68 | 15:03 | 72 | 66 |
| 14:46 | 94 | 68 | 15:04 | 72 | 65 |
| 14:47 | 29 | 68 | 15:05 | 72 | 66 |
| 14:48 | 29 | 68 | 15:06 | 72 | 68 |
| 14:49 | 29 | 68 | 15:07 | 63 | 67 |
| 14:50 | 29 | 68 | 15:08 | 63 | 66 |
| 14:51 | 120 | 68 | 15:09 | 63 | 65 |
| 14:52 | 120 | 68 | Promedio | 60 | 67 |

Tabla 5.5. Mediciones de la concentración de ozono para el 20 de mayo de 2019.

| Día 5 | | | Dia 5 | | |
|----------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo | Medición | Equipo portátil | Equipo Fijo |
| Hora | ppb | ppb | Hora | ppb | ppb |
| 14:43 | 202 | 119 | 15:01 | 123 | 124 |
| 14:44 | 202 | 118 | 15:02 | 123 | 118 |
| 14:45 | 202 | 114 | 15:03 | 41 | 118 |
| 14:46 | 202 | 114 | 15:04 | 41 | 117 |
| 14:47 | 92 | 112 | 15:05 | 41 | 116 |
| 14:48 | 92 | 108 | 15:06 | 41 | 114 |
| 14:49 | 92 | 112 | 15:07 | 0 | 114 |
| 14:50 | 92 | 116 | 15:08 | 0 | 117 |
| 14:51 | 105 | 114 | 15:09 | 0 | 120 |
| 14:52 | 105 | 117 | 15:10 | 0 | 123 |
| 14:53 | 105 | 120 | 15:11 | 31 | 123 |
| 14:54 | 105 | 120 | 15:12 | 31 | 124 |
| 14:55 | 91 | 121 | 15:13 | 31 | 127 |
| 14:56 | 91 | 119 | 15:14 | 31 | 127 |
| 14:57 | 91 | 114 | 15:15 | 96 | 128 |
| 14:58 | 91 | 112 | 15:16 | 96 | 126 |
| 14:59 | 123 | 115 | 15:17 | 96 | 128 |
| 15:00 | 123 | 120 | 15:18 | 96 | 129 |
| | | | Promedio | 86 | 119 |

5.2 Segunda Parte experimental

Al finalizar con la primera parte experimental se hizo el levantamiento arquitectónico del centro de fotocopiado para determinar la distribución del equipo y mobiliario del lugar, con esta información se generaron una serie de planos. Además, se realizó el reconocimiento general de las fotocopiadoras. De igual manera, se generaron una serie de tablas y gráficas en las cuales se observan los valores registrados durante el horario de trabajo del centro de fotocopiado.

| Especificaciones equipos de impresión | | | |
|--|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Modelo | Ricoh MP 402 | HP Color laserjet M553n | Ricoh MP 2555 |
| Tipo de Toner | Dry/Dual Component | Dry/Dual Component | Dry/Dual Component |
| Estado de la Copiadora | >20, 000 copias | >30,000 copias | >20,000 copias |
| Velocidad de copiado | 25 páginas/min | 38 páginas/min | 25 páginas/min |
| Mantenimiento | 6 meses | 6 meses | 6 meses |

Tabla 5.6. Especificaciones de los equipos de impresión dentro del centro de fotocopiado

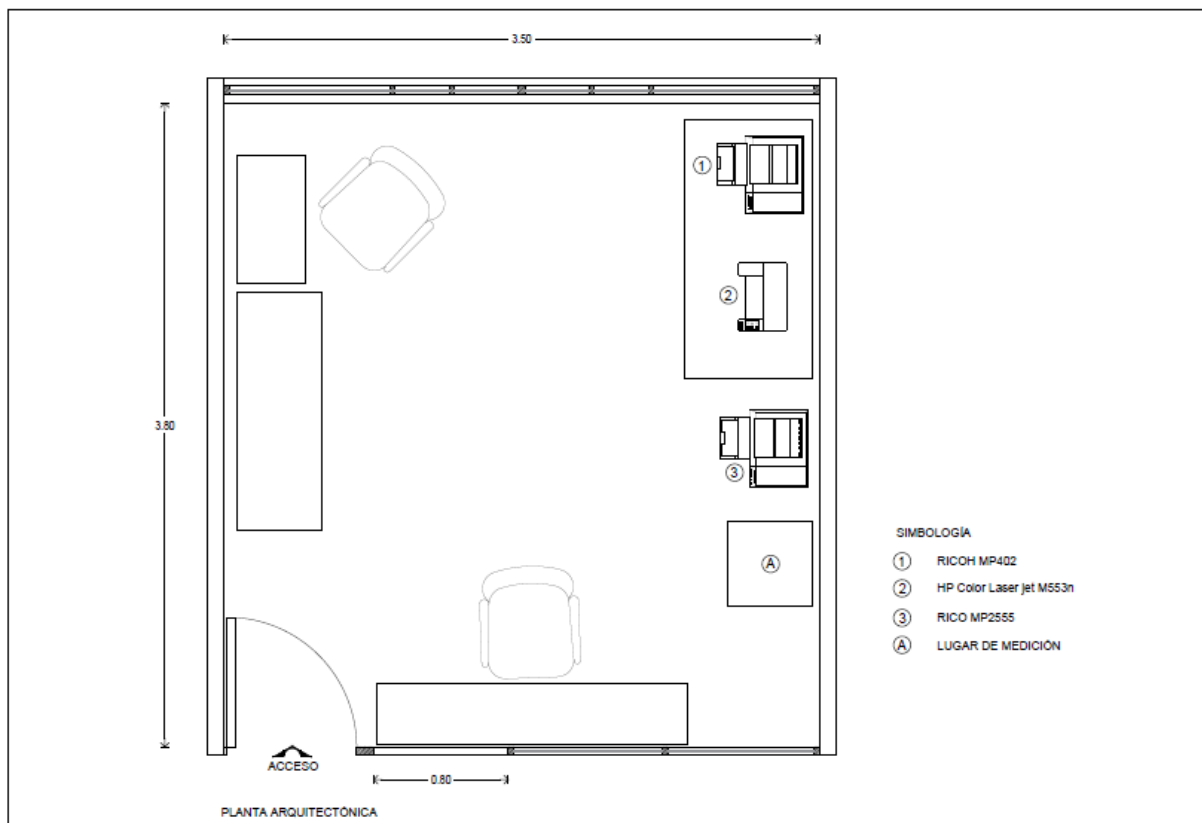


Figura 5.1. Planta arquitectónica del centro de fotocopiado

Figura 5.2. Fachada Interior A

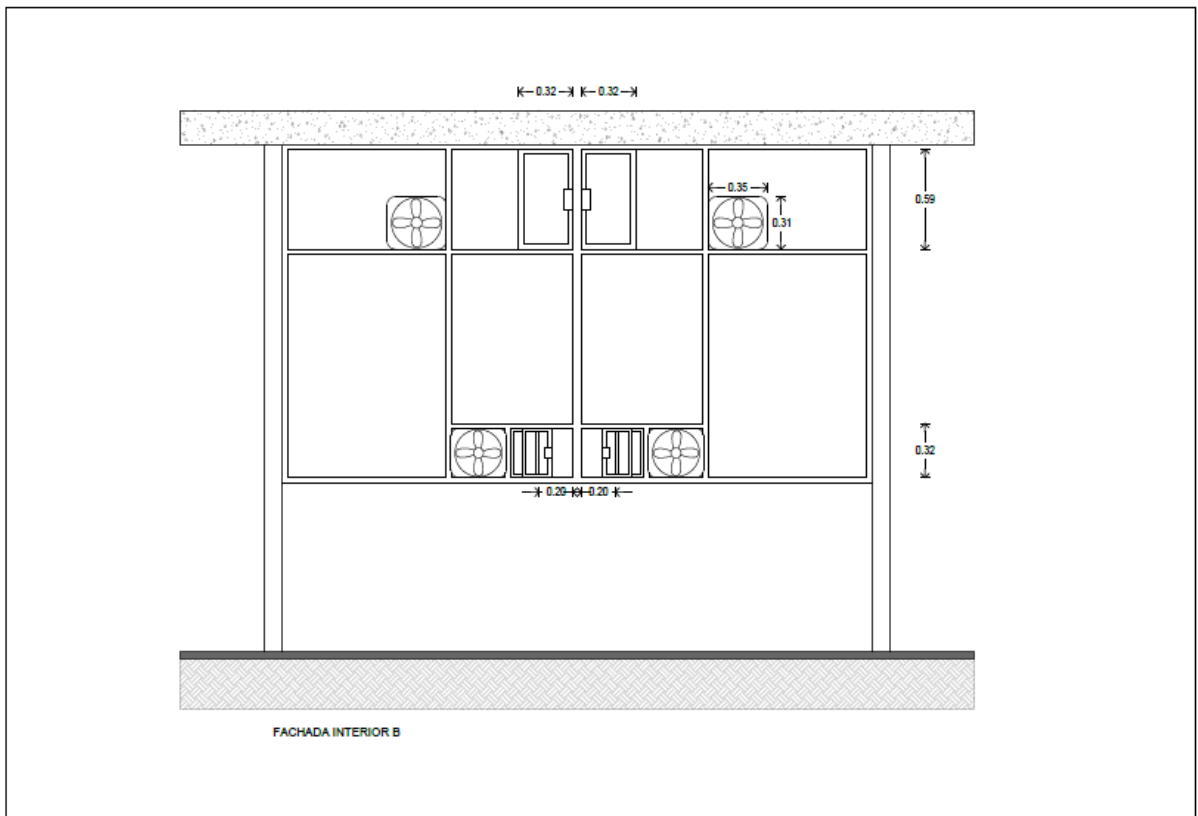
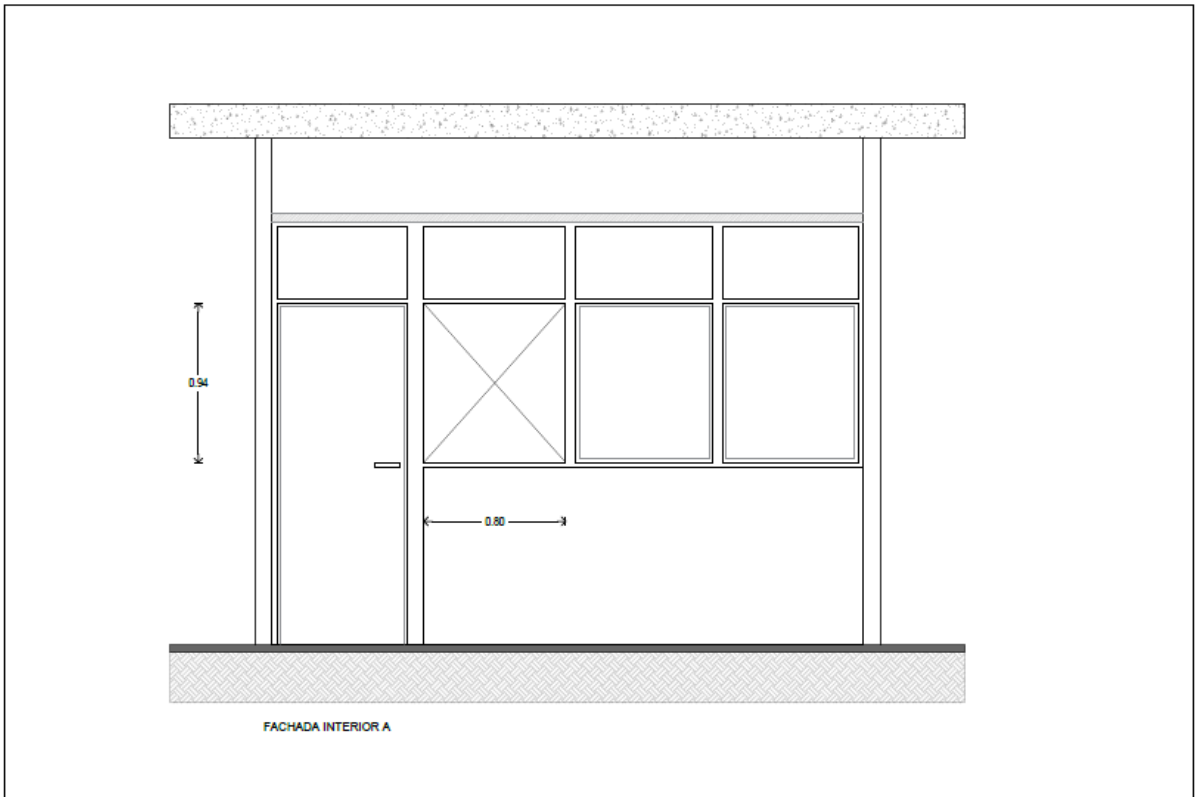


Figura 5.3. Fachada Interior B

Tabla 5.7. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el 23 de septiembre de 2019

| Día 1 | | | Día 1 | | |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) | Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) |
| 9:00-9:15 | 0.000 | 0.000 | 11:30-11:45 | 0.000 | 0.000 |
| 9:15-9:30 | 0.000 | 0.000 | 11:45-12:00 | 0.000 | 0.000 |
| 9:30-9:45 | 0.000 | 0.000 | 12:00-12:15 | 0.000 | 0.000 |
| 9:45-10:00 | 0.000 | 0.000 | 12:15-12:30 | 0.000 | 0.003 |
| 10:00-10:15 | 0.000 | 0.000 | 12:30-12:45 | 0.000 | 0.010 |
| 10:15-10:30 | 0.000 | 0.000 | 12:45-13:00 | 0.000 | 0.006 |
| 10:30-10:45 | 0.000 | 0.000 | 13:00-13:15 | 0.000 | 0.006 |
| 10:45-11:00 | 0.000 | 0.000 | 13:15-13:30 | 0.000 | 0.003 |
| 11:00-11:15 | 0.000 | 0.000 | 13:30-13:45 | 0.001 | 0.008 |
| 11:15-11:30 | 0.000 | 0.000 | 13:45-14:00 | 0.000 | 0.008 |

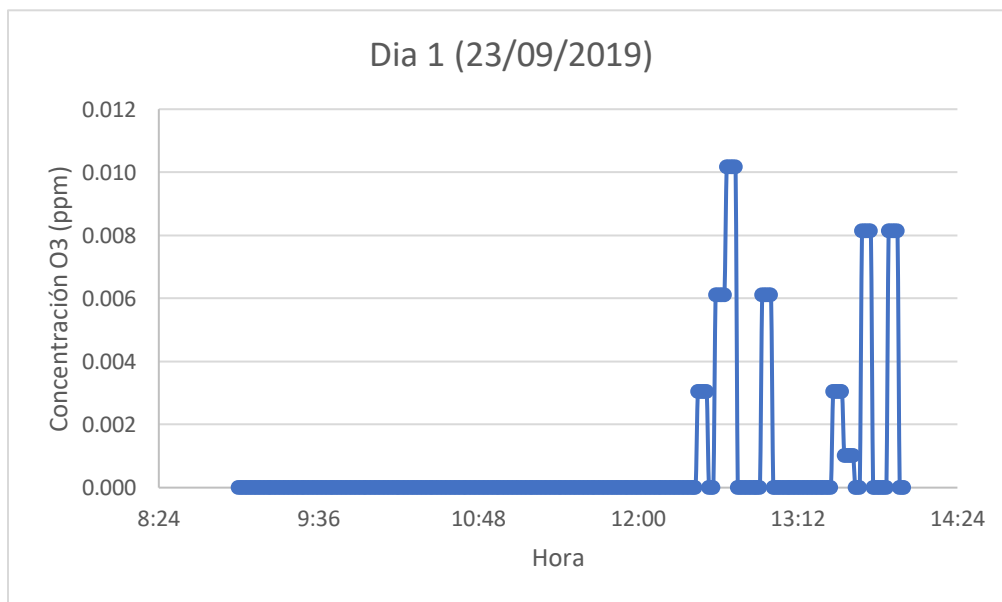


Figura 5.4. Gráfica de emisiones de ozono para el 23 de septiembre de 2019.

Tabla 5.8. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el 24 de septiembre de 2019

| Día 2 | | | Día 2 | | |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) | Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) |
| 9:00-9:15 | 0.000 | 0.000 | 11:30-11:45 | 0.000 | 0.009 |
| 9:15-9:30 | 0.000 | 0.000 | 11:45-12:00 | 0.000 | 0.006 |
| 9:30-9:45 | 0.000 | 0.000 | 12:00-12:15 | 0.000 | 0.007 |
| 9:45-10:00 | 0.000 | 0.008 | 12:15-12:30 | 0.000 | 0.022 |
| 10:00-10:15 | 0.000 | 0.006 | 12:30-12:45 | 0.003 | 0.009 |
| 10:15-10:30 | 0.000 | 0.006 | 12:45-13:00 | 0.000 | 0.027 |
| 10:30-10:45 | 0.000 | 0.000 | 13:00-13:15 | 0.000 | 0.022 |
| 10:45-11:00 | 0.000 | 0.000 | 13:15-13:30 | 0.000 | 0.000 |
| 11:00-11:15 | 0.000 | 0.000 | 13:30-13:45 | 0.001 | 0.011 |
| 11:15-11:30 | 0.000 | 0.000 | 13:45-14:00 | 0.000 | 0.011 |

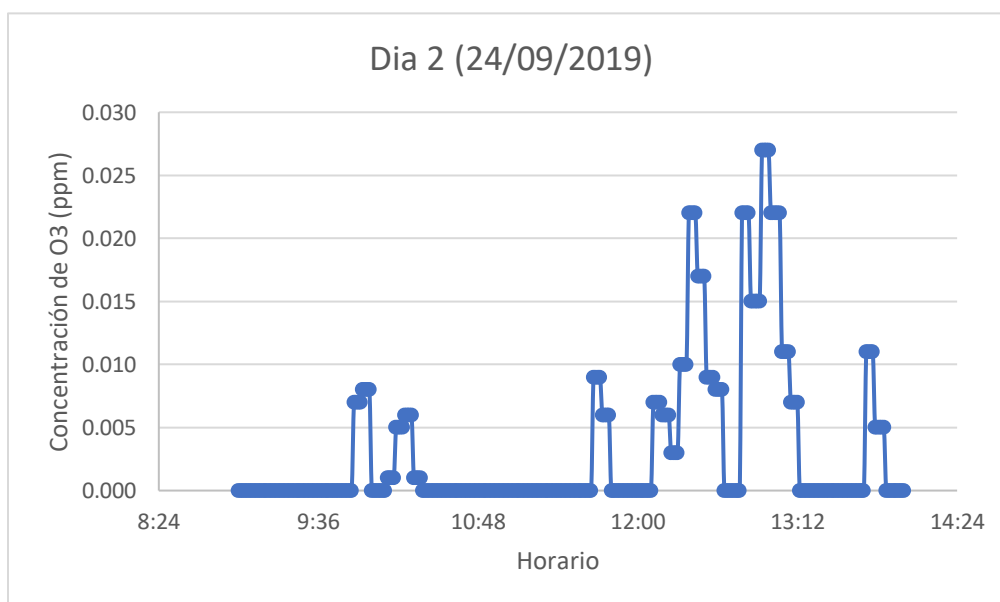


Figura 5.5. Gráfica de emisiones de ozono para el 24 de septiembre de 2019

Tabla 5.9. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el 25 de septiembre de 2019

| Día 3 | | | Día 3 | | |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) | Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) |
| 9:00-9:15 | 0.000 | 0.000 | 11:30-11:45 | 0.003 | 0.019 |
| 9:15-9:30 | 0.000 | 0.000 | 11:45-12:00 | 0.000 | 0.006 |
| 9:30-9:45 | 0.000 | 0.000 | 12:00-12:15 | 0.004 | 0.009 |
| 9:45-10:00 | 0.000 | 0.000 | 12:15-12:30 | 0.002 | 0.019 |
| 10:00-10:15 | 0.000 | 0.000 | 12:30-12:45 | 0.019 | 0.029 |
| 10:15-10:30 | 0.000 | 0.000 | 12:45-13:00 | 0.019 | 0.033 |
| 10:30-10:45 | 0.000 | 0.001 | 13:00-13:15 | 0.016 | 0.033 |
| 10:45-11:00 | 0.000 | 0.000 | 13:15-13:30 | 0.001 | 0.023 |
| 11:00-11:15 | 0.000 | 0.000 | 13:30-13:45 | 0.000 | 0.024 |
| 11:15-11:30 | 0.000 | 0.003 | 13:45-14:00 | 0.000 | 0.024 |

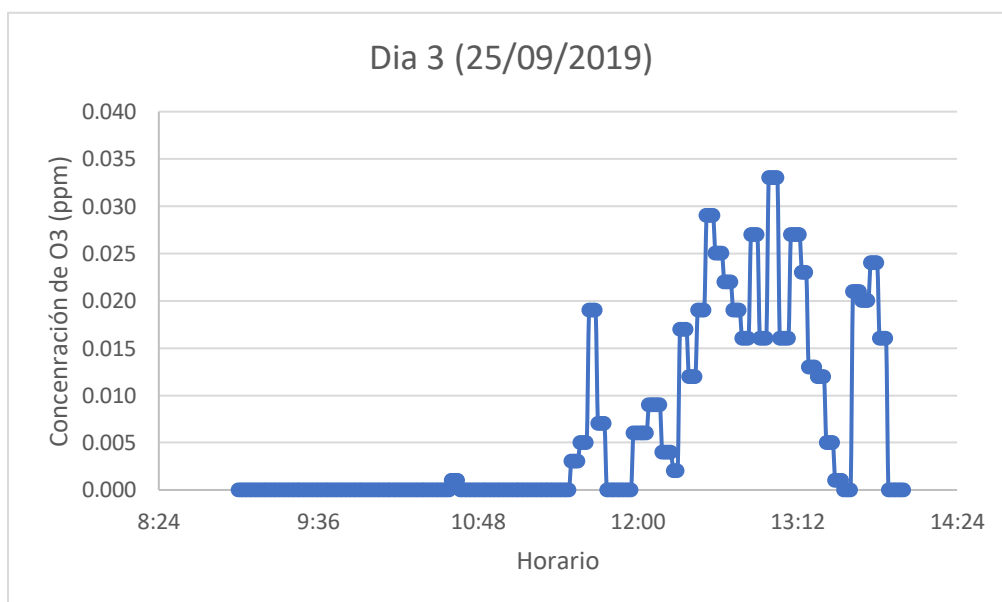


Figura 5.6. Gráfica de emisiones de ozono para el 25 de septiembre de 2019.

Tabla 5.10. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el 26 de septiembre de 2019

| Día 4 | | | Día 4 | | |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) | Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) |
| 9:00-9:15 | 0.000 | 0.000 | 11:30-11:45 | 0.000 | 0.000 |
| 9:15-9:30 | 0.000 | 0.000 | 11:45-12:00 | 0.000 | 0.000 |
| 9:30-9:45 | 0.000 | 0.000 | 12:00-12:15 | 0.000 | 0.009 |
| 9:45-10:00 | 0.000 | 0.000 | 12:15-12:30 | 0.000 | 0.008 |
| 10:00-10:15 | 0.000 | 0.004 | 12:30-12:45 | 0.000 | 0.033 |
| 10:15-10:30 | 0.000 | 0.009 | 12:45-13:00 | 0.000 | 0.020 |
| 10:30-10:45 | 0.000 | 0.005 | 13:00-13:15 | 0.000 | 0.027 |
| 10:45-11:00 | 0.000 | 0.000 | 13:15-13:30 | 0.000 | 0.007 |
| 11:00-11:15 | 0.000 | 0.000 | 13:30-13:45 | 0.000 | 0.003 |
| 11:15-11:30 | 0.000 | 0.000 | 13:45-14:00 | 0.000 | 0.000 |

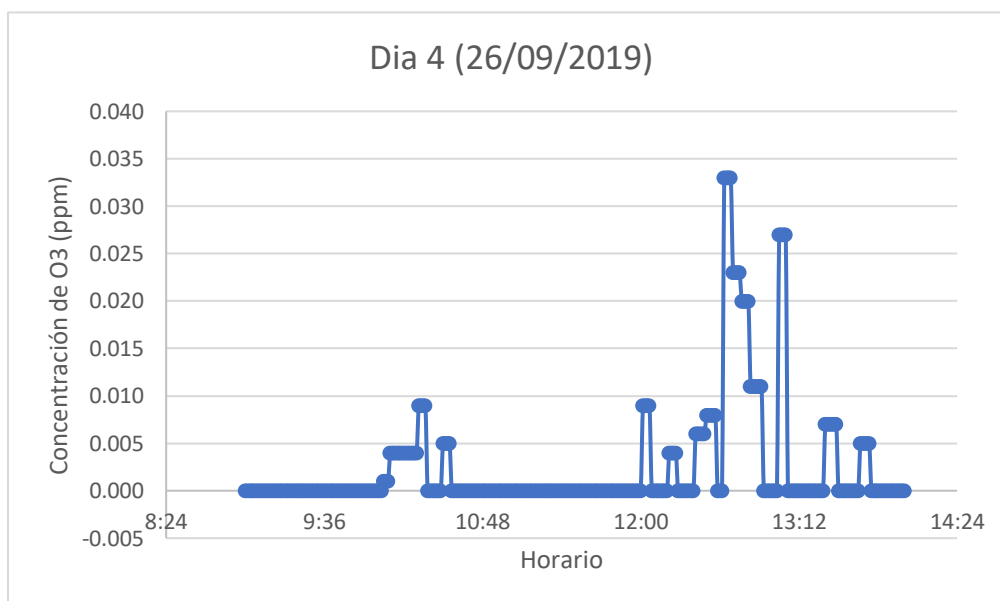


Figura 5.7. Gráfica de emisiones de ozono para el 26 de septiembre de 2019.

Tabla 5.11. Valores máximos y mínimos de ozono registrados por intervalos para el 27 de septiembre de 2019.

| Día 5 | | | Día 5 | | |
|----------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) | Intervalo Hora | Min (ppm) | Máx (ppm) |
| 9:00-9:15 | 0.000 | 0.000 | 11:30-11:45 | 0.000 | 0.007 |
| 9:15-9:30 | 0.000 | 0.000 | 11:45-12:00 | 0.000 | 0.000 |
| 9:30-9:45 | 0.000 | 0.000 | 12:00-12:15 | 0.000 | 0.011 |
| 9:45-10:00 | 0.000 | 0.000 | 12:15-12:30 | 0.000 | 0.011 |
| 10:00-10:15 | 0.000 | 0.000 | 12:30-12:45 | 0.000 | 0.014 |
| 10:15-10:30 | 0.000 | 0.000 | 12:45-13:00 | 0.000 | 0.024 |
| 10:30-10:45 | 0.000 | 0.000 | 13:00-13:15 | 0.000 | 0.024 |
| 10:45-11:00 | 0.000 | 0.000 | 13:15-13:30 | 0.000 | 0.031 |
| 11:00-11:15 | 0.000 | 0.000 | 13:30-13:45 | 0.000 | 0.004 |
| 11:15-11:30 | 0.000 | 0.000 | 13:45-14:00 | 0.000 | 0.017 |

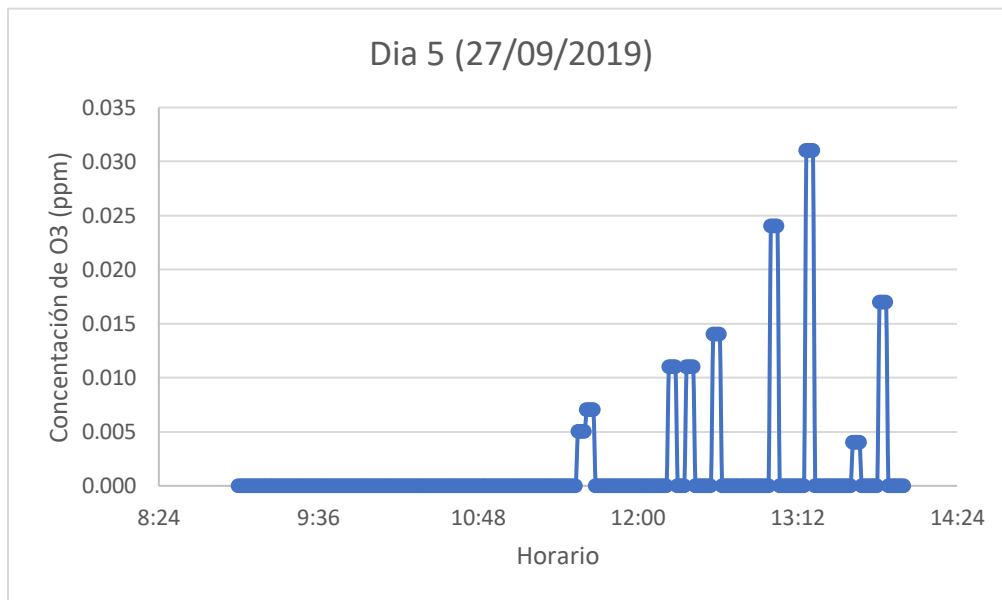


Figura 5.8. Gráfica de emisiones de ozono para el 27 de septiembre de 2019.

Capítulo 6

Análisis de Resultados

6.1 Primera Parte experimental

Al finalizar la primera parte experimental se obtuvo el promedio de la concentración de ozono de cada uno de los días correspondientes a las fechas de entre febrero y mayo y se generó una tabla con dichos promedios.

| Promedios Diarios de concentración de O₃ (ppb) | | |
|--|--------------------|------------------------|
| <i>Instrumento</i> | <i>Equipo Fijo</i> | <i>Equipo portátil</i> |
| <i>Día 1</i> | 79 | 67 |
| <i>Día 2</i> | 42 | 15 |
| <i>Día 3</i> | 88 | 75 |
| <i>Día 4</i> | 67 | 60 |
| <i>Día 5</i> | 119 | 86 |

Tabla 6.1. Promedios para el equipo portátil y el equipo fijo por día.

Posteriormente se realizó una división con cada uno de los días entre los promedios de cada día para así obtener una razón y poder hacer una comparación entre los datos.

| Relación de Promedios | |
|------------------------------|-------|
| <i>Día 1</i> | 1.179 |
| <i>Día 2</i> | 2.720 |
| <i>Día 3</i> | 1.173 |
| <i>Día 4</i> | 1.114 |
| <i>Día 5</i> | 1.383 |

Tabla 6.2. Razón entre el valor promedio del equipo fijo y el equipo portátil.

En la tabla 6.2, se observa como la relación obtenida para cada uno de los días son muy parecidas entre sí, teniendo la mayoría de ellas valores cercanos al 1.1, en tal caso que solo el día cinco tiene un valor de 1.383. Sin embargo, se observa que durante el día dos esta relación aumentó hasta un valor de 2.720.

Asimismo, para esta primera parte experimental se hizo uso de otra técnica, la cual permitiera demostrar las condiciones en las cuales se encontraba el cabezal del equipo y si era óptimo utilizarlo en la segunda parte experimental. La técnica seleccionada fue la de diseño de un experimento con bloques al azar. Para hacer

correcto uso de dicho modelo experimental los valores deberán cumplir con ciertos supuestos, los cuales son:

- 1) Cada una de las poblaciones de las cuales provienen las muestras está distribuida normalmente, con media μ_j y varianza σ_j^2 .
- 2) Cada una de las poblaciones tiene la misma varianza. Es decir:

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

Debido a estos supuestos se hace necesario realizar una serie de pruebas que nos permiten determinar si los datos recopilados cumplen con estos mismos.

Los valores utilizados para las siguientes pruebas fueron los mismos datos reportados dentro de la tabla 6.1 que contiene los promedios diarios de los valores del equipo portátil y del equipo fijo.

Para la determinación del primer supuesto se realizó una prueba de normalidad con todo el conjunto de datos para así determinar la normalidad de ambos grupos. Para dicha prueba se usó de herramienta el programa NCSS versión 2007.

| Test Name | Test Value | Prob Level | 10% Critical Value | 5% Critical Value | Decision (5%) |
|---------------------|------------|------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Shapiro-Wilk W | 0.920229 | 0.3588689 | | | Can't reject normality |
| Anderson-Darling | 0.4270242 | 0.3131168 | | | Can't reject normality |
| Martinez-Iglewicz | 1.00108 | | 1.430911 | 1.961897 | Can't reject normality |
| Kolmogorov-Smirnov | 0.1981109 | | 0.241 | 0.262 | Can't reject normality |
| D'Agostino Skewness | 0 | 1 | 1.645 | 1.960 | Can't reject normality |
| D'Agostino Kurtosis | -1.7204 | 0.085351 | 1.645 | 1.960 | Can't reject normality |
| D'Agostino Omnibus | 2.9599 | 0.227644 | 4.605 | 5.991 | Can't reject normality |

Figura 6.1. Prueba de normalidad de los promedios diarios.

Posteriormente se realizó una prueba de igualdad de varianzas de Levene con ayuda del programa SPSS 24 para determinar si la varianza entre los valores era la misma.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error

Variable dependiente: Concentracion_O3_ppb

| F | df1 | df2 | Sig. |
|------|-----|-----|------|
| .010 | 1 | 8 | .923 |

Figura 6.2. Prueba de igualdad de varianzas.

En lo que se refiere a la igualdad de varianzas podemos ver en la tabla anterior, que la significancia tiene un valor de 0.923 el cual es mayor a 0.050 con lo cual se determina que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

Después de haber realizado dichas pruebas se prosiguió a realizar las pruebas con el modelo matemático y así poder comparar las medias con la ANOVA. Con esta técnica se obtuvieron los siguientes resultados.

Variable dependiente: Concentracion_O3_ppb

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Modelo | 55490.400 ^a | 6 | 9248.400 | 151.862 | .000 |
| Instrumento | 846.400 | 1 | 846.400 | 13.898 | .020 |
| Día | 5923.600 | 4 | 1480.900 | 24.317 | .005 |
| Error | 243.600 | 4 | 60.900 | | |
| Total | 55734.000 | 10 | | | |

a. R al cuadrado = .996 (R al cuadrado ajustada = .989)

Figura 6.3. Resultados de la prueba ANOVA.

En la imagen anterior se observa que la significancia para “Instrumento” es menor a 0.050 teniendo está un valor de 0.020, lo cual indica que no existe una igualdad entre las concentraciones de ozono medidas por el equipo portátil y el equipo fijo.

Se realizó una prueba de DUNCAN con los días debido a que la prueba ANOVA demostró que la concentración de ozono en ambos equipos era estadísticamente diferente. Se hizo uso de los días debido a que esta prueba determinaría cuales días habían sido diferentes al resto y así poder hacer una determinación sobre si el cabezal del equipo se encontraba en condiciones óptimas para operar.

| Dia | N | Subconjunto | | |
|------|---|-------------|-------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 28.50 | | |
| 4 | 2 | | 63.50 | |
| 1 | 2 | | 73.00 | |
| 3 | 2 | | 81.50 | 81.50 |
| 5 | 2 | | | 102.50 |
| Sig. | | 1.000 | .087 | .055 |

Figura 6.4. Prueba DUNCAN

En dicha prueba se observa que se formaron tres diferentes subconjuntos, lo cual demuestra que existe una variación entre los datos.

Se observa que el día dos tiene un subconjunto para sí mismo mientras que el subconjunto dos contiene a los días cuatro, uno y tres. De igual manera el subconjunto tres contiene a los días tres y cinco. Esta diferencia demuestra que las mediciones durante el día dos no se parecen a las del resto de los días. A pesar de que las mediciones durante el día cinco también se encuentran en un subconjunto distinto al de la mayoría se puede asumir que este no tiene una gran diferencia debido a que también se encuentra contenido en este subconjunto el día tres, el cual forma parte del subconjunto dos y tres lo cual demuestra que al menos el día cinco se parece a algún otro de los demás días.

De igual manera se realizó una gráfica con los resultados anteriores para así poder determinar si las conclusiones eran correctas o erróneas.

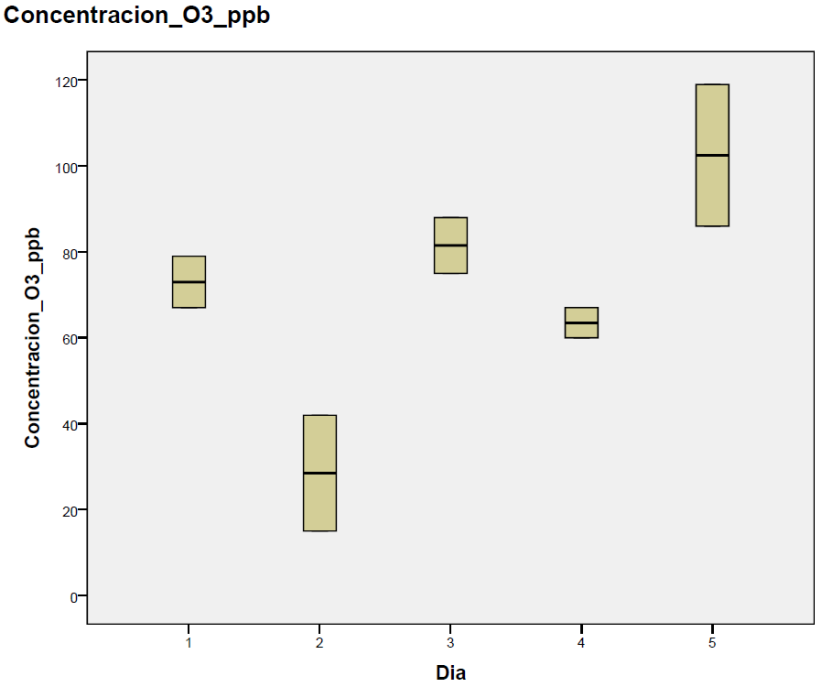


Figura 6.5. Gráfica de cajas por día

En la imagen anterior se observa que la longitud de las cajas para el día dos y cinco son significativamente más grandes en comparación a los demás días, lo cual indica

que la diferencia de las concentraciones entre el equipo portátil y el equipo fijo durante esos días es mayor en comparación con los otros días. Sin embargo, en esta misma gráfica se observa que el día dos no pertenece a ninguno de los subconjuntos obtenidos mediante la prueba DUNCAN (Figura 6.4), ya que es la única caja que al establecer una línea horizontal sobre la gráfica no hace intersección con ninguna otra de las cajas.

Para comprobar las aseveraciones hechas anteriormente se realizó de nuevo la técnica de Diseño de Bloques completamente al azar sin repeticiones, pero esta vez se eliminó el día dos debido a que durante la prueba de los promedios (Tabla 6.3.) la razón de este día era de 2.720 mientras que para los demás días los valores eran cercanos a uno.

También se eliminó el día dos debido a que fue el único día que durante la prueba de DUNCAN generó un subconjunto distinto a los de los demás días, y también se observó en la gráfica de cajas que al trazar una línea horizontal sobre la gráfica este día no tenía ninguna intersección con ninguno de los demás días, lo cual demostró que este día era el más diferente a todos los demás.

Para la aplicación del modelo matemático seleccionado se hizo uso de los siguientes valores.

| Promedios Diarios de Ozono (ppb) | | |
|---|--------------------|------------------------|
| <i>Instrumento</i> | <i>Equipo Fijo</i> | <i>Equipo portátil</i> |
| <i>Día 1</i> | 79 | 67 |
| <i>Día 3</i> | 88 | 75 |
| <i>Día 4</i> | 67 | 60 |
| <i>Día 5</i> | 119 | 86 |

Tabla 6.3. Promedios para el equipo portátil y el equipo fijo por día excluyendo el día dos.

Se probaron los mismos supuestos que la primera vez mediante las mismas técnicas utilizadas para evitar los sesgos de ejecución y así tener datos confiables. Los resultados obtenidos para el supuesto de que la población de datos está distribuida normalmente fueron los siguientes. Para dicha prueba se usó de herramienta el programa NCSS versión 2007.

| Test Name | Test Value | Prob Level | 10% Critical Value | 5% Critical Value | Decision (5%) |
|---------------------|------------|------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Shapiro-Wilk W | 0.9913345 | 0.9968723 | | | Can't reject normality |
| Anderson-Darling | 0.1460762 | 0.9678023 | | | Can't reject normality |
| Martinez-Iglewicz | 1.043333 | | 1.548495 | 2.421191 | Can't reject normality |
| Kolmogorov-Smirnov | 0.1204664 | | 0.265 | 0.288 | Can't reject normality |
| D'Agostino Skewness | 0 | 1 | 1.645 | 1.960 | Can't reject normality |
| D'Agostino Kurtosis | -0.0037 | 0.997031 | 1.645 | 1.960 | Can't reject normality |
| D'Agostino Omnibus | 0.0000 | 0.999993 | 4.605 | 5.991 | Can't reject normality |

Figura 6.6. Prueba de normalidad de los promedios diarios sin el día dos.

En esta prueba se puede observar cómo se cumple el supuesto de normalidad dentro de nuestros valores, ya que no nos permite rechazar ninguna normalidad por ninguna de las pruebas realizadas.

Posteriormente se realizó una prueba de igualdad de varianzas de Levene con ayuda del programa SPSS 24 para determinar si la varianza entre los valores era la misma.

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

Variable dependiente: Concentracion_O3_ppb

| F | df1 | df2 | Sig. |
|------|-----|-----|------|
| .912 | 1 | 6 | .377 |

Figura 6.7. Prueba de igualdad de varianzas sin el día dos.

En los resultados de igualdad de varianzas representados en la tabla anterior se observa que el nivel de significancia para este grupo de datos es de 0.377, el cual es un valor mayor a .050, lo cual indica que las varianzas entre nuestras variables son iguales. Es por esta razón que se puede argumentar que el grupo de datos cumple con los supuestos y se pueden utilizar con el modelo seleccionado para su posterior análisis. Después de realizar las pruebas de los supuestos se procedió a hacer uso de la técnica ANOVA para analizar nuestro conjunto de datos, y se obtuvieron los siguientes resultados.

Variable dependiente: Concentracion_O3_ppb

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Modelo | 53547.625 ^a | 5 | 10709.525 | 162.779 | .001 |
| Instrumento | 528.125 | 1 | 528.125 | 8.027 | .066 |
| Día | 1659.375 | 3 | 553.125 | 8.407 | .057 |
| Error | 197.375 | 3 | 65.792 | | |
| Total | 53745.000 | 8 | | | |

a. R al cuadrado = .996 (R al cuadrado ajustada = .990)

Figura 6.8. Resultados de la prueba ANOVA sin día dos.

En la figura 6.8 se observa como el nivel de significancia para el grupo “Instrumento” tiene un valor de 0.066, lo cual nos indica que los valores recopilados mediante el equipo portátil y el equipo fijo son iguales estadísticamente demostrándose así que el equipo portátil se encuentra calibrado y es posible utilizarlo para la segunda parte experimental de dicho proyecto.

6.2 Segunda Parte Experimental

Después de haber realizado dicho procedimiento experimental se procedió a analizar los datos.

Se recopiló la información de los equipos de fotocopiado, ya que se sabe que los equipos emiten mayores concentraciones de ozono por impresiones creadas cuando los equipos no han recibido mantenimiento dentro de los últimos seis meses algunos autores determinaron que estos valores pueden pasar de 16 a 131 $\mu\text{g}/\text{copia}$ antes de tener mantenimiento a un rango entre 1 a 4 $\mu\text{g}/\text{copia}$ después del mantenimiento. (Leovic et al., 1996)

Posteriormente se compararon las medidas y ventilaciones del espacio con la norma técnica complementaria del proyecto arquitectónico, y se determinó el área de ventilación del lugar, para saber si este se encontraba bien ventilado y se encontraba bajo lo estipulado por la norma.

El área total del cuarto fue igual a 13.3 m^2 , el área mínima establecida por la norma es de 6 m^2 para locales comerciales, mientras que el área de ventilación tiene un área aproximada de 1.7 m^2 . Esta aproximación se debe a que dicha habitación

cuenta con cuatro extractores de aire, los cuales son encendidos y apagados intermitentemente. La normatividad nacional para locales comerciales ventilados establece que el porcentaje mínimo de ventilación será del 5% del área del local, lo cual sería equivalente a 0.7 m², por lo tanto, podemos determinar que este lugar se encuentra por encima del mínimo establecido por la norma ya que tiene un área de ventilación de 1.7 m² lo cual representa el 12% del área del local.

Dentro de dicho espacio se observó que los materiales de construcción de este lugar son predominantemente vidrio, metal y para el piso se utiliza linóleo. En la tabla 2.4 en la página 16 se observa que dichos materiales se encuentran entre los de menor velocidad de deposición, así que no es viable suponer que esta sea la razón por la cual las emisiones de ozono dentro del centro de fotocopiado sean tan bajas e incluso durante algunos los intervalos establecidos previamente, estos niveles alcancen valores de 0.000 ppm.

Tabla 6.4. Comparación de valores promedio de ozono para aire de interiores y exteriores.

| Promedio de O₃ (ppm) | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Hora | Día 1 | | Día 2 | | Día 3 | |
| | Interior | Exterior | Interior | Exterior | Interior | Exterior |
| 09:00 | 0.000 | 0.004 | 0.001 | 0.008 | 0.000 | 0.007 |
| 10:00 | 0.000 | 0.008 | 0.001 | 0.014 | 0.000 | 0.020 |
| 11:00 | 0.000 | 0.014 | 0.001 | 0.022 | 0.002 | 0.030 |
| 12:00 | 0.002 | 0.023 | 0.010 | 0.030 | 0.016 | 0.039 |
| 13:00 | 0.002 | 0.033 | 0.004 | 0.044 | 0.014 | 0.045 |

Tabla 6.5. Comparación de valores promedio de ozono para aire de interiores y exteriores.

| Promedio de O₃ (ppm) | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Hora | Día 4 | | Día 5 | |
| | Interior | Exterior | Interior | Exterior |
| 09:00 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.009 |
| 10:00 | 0.002 | 0.016 | 0.000 | 0.013 |
| 11:00 | 0.000 | 0.020 | 0.001 | 0.021 |
| 12:00 | 0.008 | 0.031 | 0.002 | 0.029 |
| 13:00 | 0.003 | 0.044 | 0.005 | 0.041 |

Posteriormente se obtuvo el promedio horario por día para así poder comparar dichos valores con aquellos registrados mediante la RAMA del equipo fijo del CCA y con esto determinar cuanta diferencia existía entre ambos valores. Al analizar los resultados obtenidos durante la segunda parte experimental se observó en las tablas 6.4 y 6.5 que los valores promedio por hora entre el interior del centro de fotocopiado y el exterior de este, eran muy distintos, resaltando que los valores obtenidos dentro del centro de fotocopiado todas las veces se encontraron por debajo de los valores registrados en el exterior del centro de fotocopiado. Se sabe que uno de los factores que podría ocasionar que esto ocurra es debido a que la relación que existe entre el ozono de exteriores e interiores depende de la ventilación que exista en el lugar de medición.

Al observar la tabla 6.4, la cual contiene los datos del día tres, siendo este el mismo día donde la persona encargada del área no asistió a trabajar y por lo tanto las ventanas se mantuvieron cerradas y los extractores no fueron encendidos, los niveles de la concentración de ozono tuvieron los niveles más elevados con respecto a los demás días.

Se observa en la figura 6.9 que en ningún punto entre las 12:00 am a 1:30 pm se pueda encontrar algún valor de cero, con lo cual se puede asumir que la concentración de ozono en dicho lugar comenzó a acumularse.

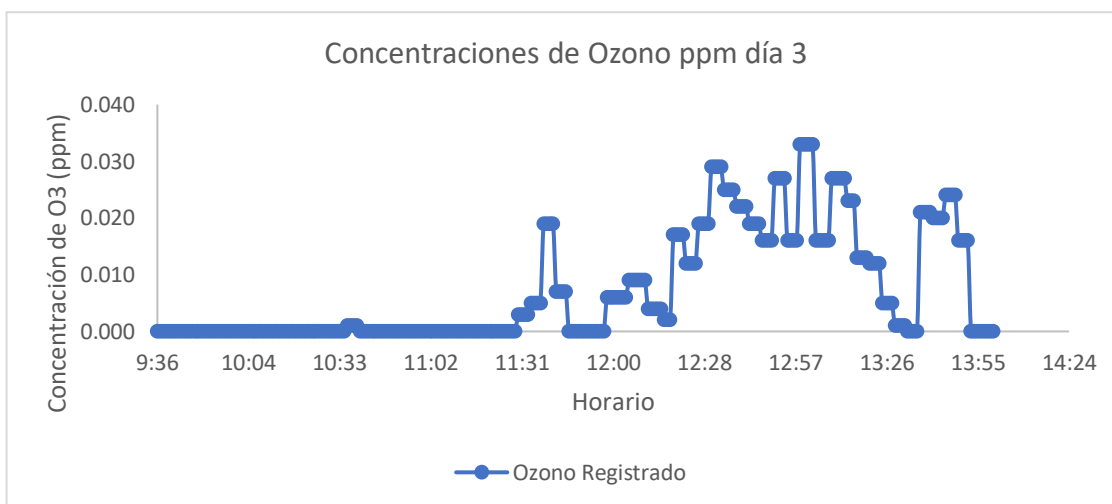


Figura 6.9. Gráfico de los valores registrados durante el día tres de experimentación

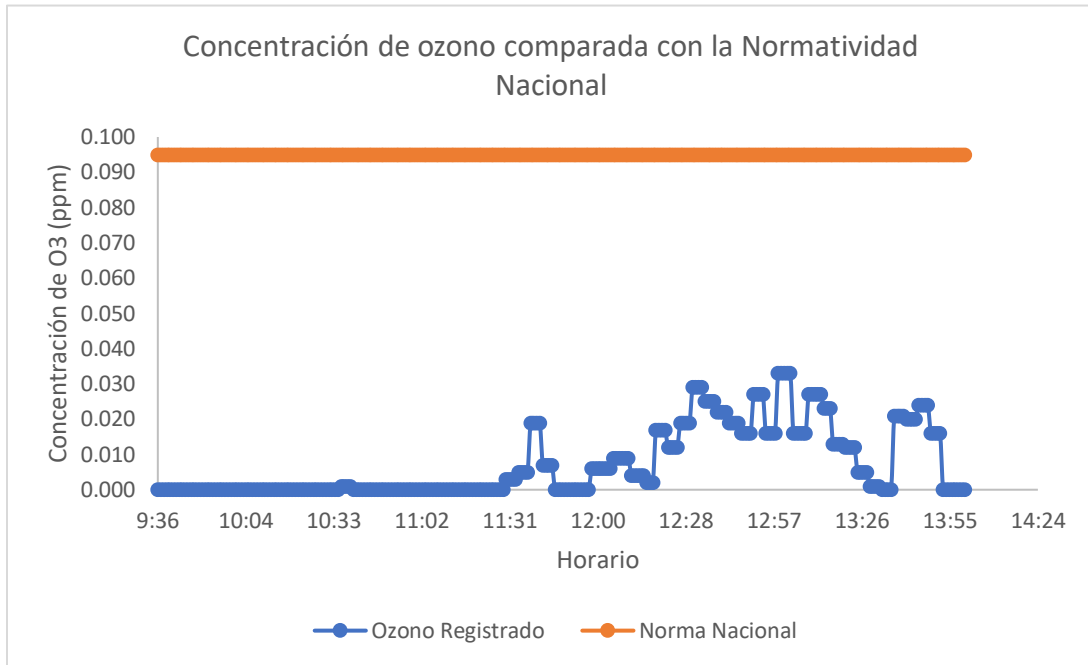


Figura 6.10. Gráfico de control para el valor máximo establecido por la normatividad nacional.

Después de realizar dicho análisis se generó un gráfico de control para así determinar si las emisiones de ozono dentro del centro de fotocopiado se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad nacional e internacional. Para dicho análisis solamente se utilizó el día tres (25/09/2019), debido a que este fue en el cual las concentraciones de ozono habían alcanzado valores máximos con respecto a los demás días.

En la Figura 6.10 se compara al centro de fotocopiado contra la NOM-010-STPS-1999, la cual establece que dentro de una jornada laboral de ocho horas no se deberá sobrepasar en un centro de trabajo el 0.1 ppm de concentración de ozono. En esta misma gráfica se observa que los valores registrados se encuentran muy por debajo de lo establecido por la normatividad nacional, aun siendo este el día de mayor concentración

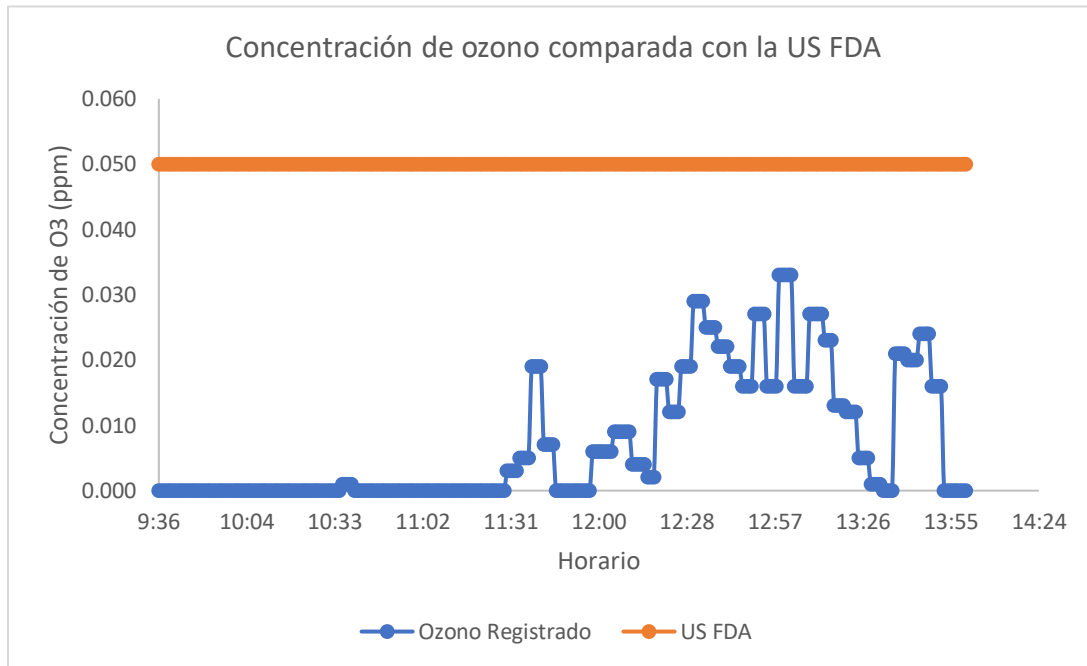


Figura 6.11. Gráfico de control para el valor máximo establecido por la US FDA.

Posteriormente se realizó el mismo gráfico, ahora tomando a consideración la normatividad con mayor exigencia de la cual se tenía registro. Para dicho análisis se utilizó la normatividad de la US FDA que establece que la concentración de ozono jamás deberá exceder en ningún momento la concentración de 0.05 ppm. En la Figura 6.11. se observa que a pesar de que el límite máximo permisible tiene ahora un valor más pequeño con respecto al que establece la norma nacional, la concentración de ozono máxima alcanzada durante este día continúa estando por debajo de este límite.

Capítulo 7

7.1 Conclusiones.

Al finalizar el análisis de datos de la primera parte experimental, se observó que en general cada uno de los días en los cuales se habían hecho las pruebas habían sido muy similares entre sí. Sin embargo, durante este mismo análisis se determinó que los factores climatológicos afectan de manera significativa al equipo portátil, debido a que los resultados del día dos en el cual se presentaron una serie de lluvias y fuertes vientos, reportaron datos muy por debajo de aquellos reportados por el equipo fijo, con respecto a lo mencionado anteriormente es importante considerar que dicho efecto no genera un impacto significativo en dicho experimento debido a que las mediciones para la segunda parte experimental se hicieron dentro de un lugar cerrado.

A pesar de que durante el día cinco también se observó una variación para los valores reportados entre el equipo fijo y el equipo portátil esta resulta ser poco significativa, ya que, la relación de promedios de estos dos valores da muy cercana a los valores de los demás días. Asimismo, se observó que al realizar las pruebas estadísticas eliminado solamente el día dos la comparación entre las medias del resto de los días tuvo un mayor nivel de significancia entre sí.

Por lo tanto, durante la primera parte experimental se demostró estadísticamente que no existía una diferencia significativa entre los resultados reportados con el equipo portátil y aquellos reportados por el equipo fijo, esto demostró que el cabezal del equipo portátil se encuentra en óptimas condiciones para proceder con la segunda parte experimental y realizar un muestreo dentro del centro de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmosfera en Ciudad universitaria.

Al finalizar el análisis de la segunda parte experimental se puede concluir que uno de los factores que disminuyó los valores promedio dentro del centro de fotocopiado fue el hecho de que los equipos recibían mantenimiento aproximadamente cada seis meses.

Otro de los factores que tuvo un impacto sobre la concentración de ozono fue la ventilación, ya que al revisar los planos del centro de fotocopiado se observa que

su área total es de 13.3 m² y que su área de ventilación es de 1.7 m², lo cual representa el 12% del área total, en comparación con la normatividad nacional la cual establece que el porcentaje mínimo de ventilación será del 5% del área del local, con lo cual se observa que el área de ventilación de dicho lugar es 2.4 veces mayor que lo establecido por la norma. Además, es importante hacer notar que dicho espacio cuenta con cuatro extractores de aire, los cuales son encendidos y se mantienen de esta manera por los menos durante un aproximado de tres horas diarias, esto evita que el ozono se acumule dentro del área de fotocopiado y así disminuir la concentración de este gas.

En el gráfico de control (Figura 6.10) se observa que los niveles en la concentración de ozono se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la normatividad nacional ya que el nivel máximo de ozono alcanzado en cualquiera de los días fue de 0.033 ppm. Asimismo, cuando dicho valor fue comparado con la norma establecida por la US FDA (Figura 6.11) cuya exigencia es mayor que lo estipulado por la normatividad nacional, este mismo se encontraba aún por debajo de dicho límite máximo permisible. De acuerdo con la información publicada en el segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas, se requiere alcanzar una medida de entre 0.11 y 0.23 ppm de ozono para así tener una calidad del aire no satisfactoria, esto sería el equivalente a estar entre 100 y 200 puntos IMECA.

Lo mencionado anteriormente demuestra que para este centro de fotocopiado en específico las emisiones de ozono se encuentran por debajo de lo establecido por la normatividad, debido a esto se puede deducir que los trabajadores que se encuentran en dicho centro de fotocopiado no se encuentran bajo un riesgo potencial hacía su salud relacionado con las emisiones de ozono generadas por las fotocopiadoras.

Capítulo 8

Bibliografía

1. Aboitiz Saro, F. (2011). *Norma Técnica Complementaria para el proyecto Arquitectónico*. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Distrito Federal.
2. AEROQUAL.(2019) "Gas Sensitive Semiconductor (GSS) Technology." Aeroqual, www.aeroqual.com/company/our-technology/gss-technology.
3. Arias-Hualpa, M., Leal-Padín, M., & Pérez-Alemán, Á. (2015). Efectos adversos derivados de la exposición ocupacional a ozono industrial. *Medicina Y Seguridad Del Trabajo*, 61(238), 125-138. doi: 10.4321/s0465-546x2015000100011
4. Atkinson, R., Tuazon, E., & Aschmann, S. (1995). Products of the Gas-Phase Reactions of O₃ with Alkenes. *Environmental Science & Technology*, 29(7), 1860-1866. doi: 10.1021/es00007a025
5. Avol, E.L., Navidi, W.C. & Colome, S.D. (1998) Modeling ozone levels in and around Southern California homes, *Environmental Science and Technology*, 29, 1860-1866.
6. Ayotamuno, J., Okoroji, J., & Akor, A. (2013). Ozone Emission by Commercial Photocopy Machines in Rivers State University of Science & Technology, Nigeria. *Journal Of Scientific And Engineering Research*, 4(6), 607-616.
7. Barraza-Villarreal, A., Sunyer, J., Hernandez-Cadena, L., Escamilla-Nuñez, M., Sienra-Monge, J., & Ramírez-Aguilar, M. et al. (2008). Air Pollution, Airway Inflammation, and Lung Function in a Cohort Study of Mexico City Schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*, 116(6), 832-838. doi: 10.1289/ehp.10926
8. Burnett. et al. (2007). Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública de México*, 49(19), 27-36
9. Carazo Fernández, L., Fernández Alvarez, R., González-Barcala, F., & Rodríguez Portal, J. (2013). Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. *Archivos De Bronconeumología*, 49(1), 22-27. doi: 10.1016/j.arbres.2012.04.005

10. Cotton, F.A. & Wilkinson, G. (1980) *Advanced Inorganic Chemistry*, 4th ed, New York, John Wiley & Sons.
11. Daniel, W. (1983). *Biostatistics* (4th ed., pp. 283-293). New York: Wiley.
12. Duncan, D.B., (1955). *Biometrics*, vol. 11, núm. 1 , 1-42. Reproducida con autorización de “ Multiple Range and Multiple F Tests”.
13. Elango, N., Kasi, V., Vembhu, B., & Poornima, J. (2013). Chronic exposure to emissions from photocopiers in copy shops causes oxidative stress and systematic inflammation among photocopier operators in India. *Environmental Health*, 12(1). doi: 10.1186/1476-069x-12-78
14. Finlayson-Pitts, B., & Pitts, J. (1986). Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques. *Berichte Der Bunsengesellschaft Für Physikalische Chemie*, 90(12), 1244-1244. doi: 10.1002/bbpc.19860901231
15. Fischer, A., Ljungström, E., & Langer, S. (2013). Ozone removal by occupants in a classroom. *Atmospheric Environment*, 81, 11-17. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.08.054
16. Grøntoft, T., & Raychaudhuri, M., 2004. Compilation of tables of surface deposition velocities for O₃, NO₂ and SO₂ to a range of indoor surfaces. *Journal of Atmospheric Environment*. 38, 533-544.
17. Health Effects of Ozone in the General Population | Ozone and Your Patients' Health | US EPA. (2019). Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/health-effects-ozone-general-population_.html
18. Hernández-Cadena, L., Téllez-Rojo, M., Sanín-Aguirre, L., Lacasaña-Navarro, M., Campos, A., & Romieu, I. (2000). Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Salud Pública De México*, 42(4), 288-297. doi: 10.1590/s0036-36342000000400003
19. Herrera Hernández, M., García Gutiérrez, A., & Bravo Álvarez, H. (2016). Concentraciones de ozono en Ciudad Universitaria relacionados con cambios en la gasolina vendida en ciudad de México. Un análisis estadístico.

Retrieved

from

<http://www.posgrado.unam.mx/sites/default/files/2016/05/2306.pdf>

20. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2017). *Calidad del aire interior. Equipos y materiales de oficina: contaminantes químicos*. María de la O Culver González.
21. Islamov, R., & Krishtafovich, Y. (2011). A peculiarity of silver-based corona wire heating on ozone generation. *Journal Of Electrostatics*, 69(3), 236-239. doi: 10.1016/j.elstat.2011.03.015
22. Jerrett, M., Burnett, R., Arden Pope III, C., Ito, K., Thurston, G., & Kreswki, D. et al. (2009). Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *The New England Journal Of Medicine*, 360(11), 1085-1095
23. Lee, S., Lam, S., & Kin Fai, H. (2001). Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Building And Environment*, 36(7), 837-842. doi: 10.1016/s0360-1323(01)00009-9
24. Leovic, K., Sheldon, L., Whitaker, D., Hetes, R., Calcagni, J., & Baskir, J. (1996). Measurement of Indoor Air Emissions from Dry-Process Photocopy Machines. *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 46(9), 821-829. doi: 10.1080/10473289.1996.10467517
25. Leovic, K., Whitaker, D., Northeim, C., & Sheldon, L. (1998). Evaluation of a Test Method for Measuring Indoor Air Emissions from Dry-Process Photocopiers. *Journal Of The Air & Waste Management Association*, 48(10), 915-923. doi: 10.1080/10473289.1998.10463750
26. Mundel, E. (2004). Ozone Pollution Raises Death Risk. Retrieved from <https://consumer.healthday.com/senior-citizen-information-31/misc-death-and-dying-news-172/ozone-pollution-raises-death-risk-522359.html>
27. Nashimoto K. (1988). The effect of electrode materials on O3 and Nox emissions by corona discharging, *Journal of Imaging Science and Technology*, 32, 205-210.
28. New Jersey Department of Health and Senior Services. (1996). *Hoja informativa sobre substancias peligrosas* (pp. 1-6). New Jersey.

29. Nicolaidis, N. (1974). Skin lipids: their biochemical uniqueness. *Science*, 186, 19-26.
30. Olin, A., Ljungkvist, G., Bake, B., Hagberg, S., Henriksson, L., & Torén, K. (1999). Exhaled nitric oxide among pulpmill workers reporting gassing incidents involving ozone and chlorine dioxide. *European Respiratory Journal*, 14(4), 828. doi: 10.1034/j.1399-3003.1999.14d18.x
31. Plopper, C., Chow, C., Dungworth, D., Brummer, M., & Nemeth, T. (1978). Effect of low level of ozone on rat lungs. *Experimental And Molecular Pathology*, 29(3), 400-411. doi: 10.1016/0014-4800(78)90081-3
32. Pons, L. (2004). Ozono. Un conflictivo agresor cutáneo. *Oficina De Farmacia*, (23), 136-137.
33. Romero Mares, P. *Diseño de Bloques al azar*. Presentation, Retrieved from: <http://www.dpye.iimas.unam.mx/patricia/indexer/bloques.pdf>.
34. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1993). *Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993 Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la caibración de los equipos de medición*. Sergio Reyes Juan.
35. Secretaría de Salud. (2014). *Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud Ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación*. Estados Unidos Mexicanos: Mikel Andoni Arriola Peñalosa.
36. SEMARNAP / INE / CENICA / JICA. (1997). *Segundo Informe Sobre la Calidad de Aire en Ciudades Mexicanas 1997* (pp. 7-18). Ciudad de México: Dirección de Análisis de Datos Ambientales del Instituto Nacional de Ecología.
37. Shair, F.H. & Heitner, K.L. (1974). Theoretical model for relating indoor pollutant concentrations to those outside, *Environmental Science and Technology*, 8, 444-451.
38. Singh, B., Kumar, A., Singh, D., Punia, M., Kumar, K., & Jain, V. (2014). An assessment of ozone levels, UV radiation and their occupational health

- hazard estimation during photocopying operation. *Journal Of Hazardous Materials*, 275, 55-62. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.04.049
39. Solaz Portóles, J. (2001). El ozono atmosférico, ¿Benefactor o Malhechor?. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, 18(3), 350-363.
40. Sousa, S., Ferraz, C., Alvim-Ferraz, M., Martins, F., Vaz, L., & Pereira, M. (2011). Spirometric tests to assess the prevalence of childhood asthma at Portuguese rural areas: Influence of exposure to high ozone levels. *Environment International*, 37(2), 474-478. doi: 10.1016/j.envint.2010.11.014
41. *The office equipment Industry's guide to managing product emissions*. (2003). [Ebook] (pp. 3-14). Marietta, Georgia. Retrieved from <http://greenguard.org/files/BlackandWhite.pdf>
42. Tipayarom, A., & Tipayarom, D. (2011). *Ozone level emitted Photocopiers and its exposure*. Lecture, International Conference on Environmental and Computer Science, Singapore.
43. Tuomi, T., Engström, B., Niemelä, R., Svinhufvud, J., & Reijula, K. (2000). Emission of Ozone and Organic Volatiles from a Selection of Laser Printers and Photocopiers. *Applied Occupational And Environmental Hygiene*, 15(8), 629-634. doi: 10.1080/10473220050075635
44. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2012). Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants. *National Center for Environmental Assessment*.
45. Valuntaitė, V., & Girgždienė, R. (2007). Investigation of ozone emission and dispersión from photocopying machines. *Journal of environmental Engineering and Landscape Management*, 15(2), 61-67. doi: 10.3846/16486897.2007.9636910
46. WESCHLER*, C., & SHIELDS, H. (2000). The Influence of Ventilation on Reactions Among Indoor Pollutants: Modeling and Experimental Observations. *Indoor Air*, 10(2), 92-100. doi: 10.1034/j.1600-0668.2000.010002092.x

47. WESCHLER, C. (2000). Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry. *Indoor Air*, 10(4), 269-288. doi: 10.1034/j.1600-0668.2000.010004269.x

Apéndice

Bitácora

Se realizó un escrito en donde se llevó registro sobre los diferentes días de experimentación durante las dos fases que se realizaron.

Para la primera fase experimental se hizo una determinación de la calibración del equipo en donde se comprobaron los datos arrojados con el equipo portátil con la rama de medición del Centro de Ciencias de la Atmósfera de Ciudad Universitaria (CCA) equipo fijo.

Día 1 25/Febrero/2019

Este día fue el primer contacto que se tuvo con el equipo, debido a esto hubo complicaciones al operarlo. Se colocó el equipo para que hiciera mediciones y las guardara en su memoria interna, al notar que no estaba guardando los registros que realizaba se tuvo que modificar y pedir que guardara los registros de los valores en la computadora que se llevaba para la experimentación. Finalmente, el horario de captura fue de la 13:28 a las 14:05 horas los valores se guardaron en la computadora junto con una gráfica realizada por el equipo. Sin embargo, se presentó otro problema en el cual al pasar los registros del programa de AEROQUAL a Excel, este solo tomaba algunos datos, lo que hacía que el registro realizado estuviera incompleto, debido a esta razón se procedió a hacer una captura de los datos manual. La cual continuó haciéndose para todos los demás días que se realizó el experimento.

Día 2 4/Marzo/2019

Durante este día se presentaron muchos inconvenientes, debido a que empezó a hacer mucho viento en Ciudad Universitaria y esto complicó las mediciones debido a que el equipo empezaba a hacer mediciones erróneas y solo registraba valores de cero. Posteriormente comenzó a llover y se tuvo que detener el experimento para evitar ocasionar un daño en el equipo, llovió durante aproximadamente diez minutos y se reanudó la experimentación sin mucho éxito debido a que a pesar de que el equipo había dejado de marcar cero, los valores obtenidos eran muy cercanos a

este y eso complicó el desarrollo del experimento durante ese día. Finalmente, alrededor de las 14:40 horas se volvió a presentar un poco de lluvia por lo cual se decidió detener el experimento por ese día. Para este día se registraron valores de las 14:08 a las 14:38 con un intervalo de pausa entre las 14:11 -14:21 horas.

Día 3 6/Marzo/2019

Durante este día fue posible realizar la experimentación sin ningún problema y se pudieron obtener datos dentro del horario de 14:20 a 14:54 horas sin ningún contratiempo.

Día 4 8/Mayo/2019

Al hacer experimentaciones en este día tampoco se presentó ningún contratiempo y se pudieron hacer mediciones sin ningún problema dentro del horario de 14:35 a 15:09 horas

Día 5 20/Mayo/2019

El último día de experimentación en general no se presentó ningún problema sin embargo por momentos comenzó a haber fuerte viento y comenzaron a disminuir los valores registrados por el equipo. Sin embargo, fue posible obtener los datos sin mayor contratiempo dentro del horario de 14:43 a 15:18.

Posteriormente para la segunda fase experimental, la cual está orientada a hacer el muestreo en campo, dentro del Centro de fotocopiado del Centro de Ciencias de la Atmósfera se obtuvieron los siguientes registros por día

Segunda parte Experimental

Día 1 23/Septiembre/2019

Se hizo una inspección del lugar para determinar cuál sería el lugar más apto para colocar el equipo. Se instaló el equipo en dicha área y posteriormente se procedió a tomar medidas del centro de fotocopiado y generar los planos correspondientes.

Día 2 24/Septiembre/2019

Se colocó el equipo en el mismo lugar y se tomó un registro acerca del tipo de fotocopiadoras se encontraban en el lugar y se preguntó a la persona encargada del área información acerca de estos equipos.

Día 3 25/Septiembre/2019

Se colocó el equipo en el mismo lugar de siempre. La persona encargada del área pidió permiso para ausentarse ese día. Sin embargo, el centro de fotocopiado no dejó de funcionar, las personas envían sus documentos, se registran en una hoja y toman sus archivos.

La puerta y ventanas del lugar permanecieron cerradas durante casi todo el día.

Se capturó el registro de las fotocopias e impresiones hechas durante ese día.

Día 4 26/Septiembre/2019

La persona encargada del lugar retomó sus actividades de manera normal. Se colocó el equipo en el mismo lugar de siempre y se continuó con las mediciones.

Día 5 27/Septiembre/2019

Se colocó el equipo en el mismo lugar de siempre. Y se hicieron las mediciones necesarias.