



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
 Fecha: 25 de Octubre de 2023

C. Dr. Juan Antonio Araiza Aguilar

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE OZONO UTILIZANDO SnO₂".

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Mtro. Pedro Vera Toledo

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Dr. Carlos Manuel García Lara

Firmas:

Ccp. Expediente



Pág. 1 de 1
 Revisión 4

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**INFORME TÉCNICO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UN SENSOR DE OZONO UTILIZANDO SnO_2**

**TRABAJO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR AL TÍTULO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

JUAN DE DIOS GÓMEZ CORTEZ

DIRECTOR:

DR. CARLOS MANUEL GARCÍA LARA

TUXTLA GTZ. CHIAPAS OCTUBRE DEL 2023



ÍNDICE

ÍNDICE	3
RESUMEN.	9
INTRODUCCIÓN.	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
JUSTIFICACIÓN.	13
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	14
<i>Objetivo General</i>	14
<i>Objetivos Específicos.</i>	14
Hipótesis.	14
CAPITULO I	15
MARCO TEÓRICO	15
<i>I. 1. ¿Que es el ozono?</i>	15
<i>I. 1.1 El Ozono en la atmósfera.</i>	15
<i>I. 1.2 El ozono en la troposfera.</i>	17
<i>I. 1.3 Procesos de formación de ozono troposférico.</i>	18
<i>I. 1.4 Afecciones a la salud humana</i>	19
<i>I. 1.6 Alvéolos rellenos de aire.</i>	20
<i>I. 1.7 Inflamación de las vías respiratorias.</i>	21
<i>I. 1.8 NOM-020-SSA1-2014.</i>	21
<i>I. 1.9 Afecciones a la salud de especies salvajes</i>	24
<i>I. 2. Acerca de los sensores</i>	24
<i>I. 2.1 ¿Qué es un sensor?</i>	24
<i>I. 2.2 Clasificación de los sensores</i>	25
<i>I. 2.3 Técnicas de medición de ozono</i>	25
<i>I. 2.4 Fotómetros solares.</i>	25
<i>I. 2.5 El Método Lidar (Light Detection and Ranging)</i>	26
<i>I. 2.6 Método de Quimioluminiscencia.</i>	27
<i>I. 2.7 Medidores de ozono pasivo.</i>	28
<i>I. 2.8 Primeras detecciones.</i>	30
<i>I. 3. El solgel</i>	32

I. 3.1 Estado Del Arte Sol-Gel	33
I. 3.2 Tecnología de sol-gel en México.....	35
I. 3.3 Depósitos por Procesos Físicos (PVD)	35
I. 3.4 Sputtering.....	36
I. 3.5 Crecimiento de Películas Delgadas y Recubrimientos en Vacío	37
I. 4. Convenios internacionales.....	¡Error! Marcador no definido.
I. 4.1 La conferencia de las naciones unidas en Estocolmo, 1972.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPITULO II.....	39
METODOLOGÍA	39
II.1 Método de evaporación térmica en vacío	39
II.1.2 Descripción del sistema de crecimiento	39
II. 1.3 Cámara de Proceso	40
II. 1.3.1 Tapa superior del sistema de crecimiento.....	41
II. 1.4 Bomba Mecánica de Paletas Deslizantes	42
II. 1.5 Válvula de bajo vacío	43
II. 1.6 Válvula de alto vacío	44
II. 1.7 Bomba Turbo Molecular.....	44
II. 1.8 Bomba de apoyo de la bomba turbo molecular.....	44
II. 1.9 Sensor de bajo vacío	44
II. 1.10 Sensor de alto vacío	45
II. 1.11 Porta-sustratos.....	45
II. 1.12 Parámetros de Crecimiento.....	46
II. 1.13 Preparación de las muestras.....	47
II. 2 Bobina de Tesla como medio para obtención de ozono	49
II. 2.1 Elaboración de bases.....	51
II. 2.2. Construcción del capacitor	52
II. 2.3. Ensamble	53
II. 3 Cámara de exposición	56
II. 3.1. Sistema de ventilación	56
II. 3.2. Cámara de cristal.....	59
II. 4 Método Sol-Gel modificado.....	60

<i>II.4.1 Materiales y Equipo.....</i>	<i>60</i>
<i>II.4.2 Sol-Gel modificado.....</i>	<i>60</i>
<i>II. 4.4. Preparación de sustratos</i>	<i>62</i>
<i>II.4.5 Aplicación de la solución Sol-Gel.....</i>	<i>62</i>
<i>II.4.6 Observación de poros.</i>	<i>63</i>
<i>II.4.7 Aplicación de electrodos.</i>	<i>64</i>
<i>II.4.9 Medición de resistencia.....</i>	<i>65</i>
<i>II.4.10 Calculo indirecto del Ozono.</i>	<i>65</i>
CAPITULO III.....	66
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	66
<i>III. 1. Método Sol-Gel/Estaño modificado.....</i>	<i>66</i>
<i>III. 2 Generación de electrodos</i>	<i>68</i>
<i>III. 2.1. Generación de electrodos de aluminio.....</i>	<i>68</i>
<i>III. 2.3. Generación de electrodos por medio de un depósito de cobre</i>	<i>68</i>
<i>III. 3. “Evaluación De Factores”.....</i>	<i>69</i>
<i>III. 3.1. Tiempo óptimo de lavado.....</i>	<i>70</i>
<i>III.3.2. Determinación de ozono.</i>	<i>70</i>
<i>III.3 .3. Relación vacía/resistencia.....</i>	<i>72</i>
CAPITULO IV.....	75
CONCLUSIONES.	75
REFERENCIAS.....	77

Índice de figuras

Capítulo I

Figura I. 1 Sistema Lidar	27
Figura I. 2 Componentes del captador pasivo Ogawa	29
Figura I. 3 Molécula de Ozono.	30
Figura I. 4 Diagrama del proceso de depósito de películas delgadas y recubrimientos	37

Capítulo II

Figura II. 1 sistema de evaporación térmica en vacío	40
Figura II. 2 Sistema de alto vacío y evaporación térmica	40
Figura II. 3 Tapa superior del sistema	41
Figura II. 4 Vaselina Industrial	42
Figura II. 5 Sistema de bombas de alto vacío	43
Figura II. 6 Lectores de Vacío	45
Figura II. 7 Porta sustrato	46
Figura II. 8 Sustratos con depósito de cobre	47
Figura II. 9 Sustratos con mascarillas de aluminio	48
Figura II. 10 Embobinado	51
Figura II. 11 Tornillos en posición para descara	51
Figura II. 12 Diagrama para capacitor	52
Figura II. 13 Capacitor.	53
Figura II. 14 Bobina de Tesla	53
Figura II. 15 Switch	53
Figura II. 16 Diagrama Eléctrico de una bobina de Tesla	54
Figura II. 17 Transformador de Bobina	55
Figura II. 18 Bobina de Tela Completa	55
Figura II. 19 Transformador	55
Figura II. 20 Punto de arco de la Bobina	55
Figura II. 21 Transformador específico	55
Figura II. 22 Tornillos donde se dará el arco eléctrico	56
Figura II. 23 Complejo para la medición experimental de ozono	56
Figura II. 24 Diagrama de tubo de ventilación	57
Figura II. 25 Ventilador	57
Figura II. 26 Diagrama de tubo de ventilación	58
Figura II. 27 Fuente de poder	58
Figura II. 28 Distribución de cables de la fuente de poder	58
Figura II. 29 Arreglo de puente de fuente de poder	59
Figura II. 30 Diagrama de flujo de gases en cámara de gas	59
Figura II. 31 Sensor Sol-Gel/Oxido de estaño	61
Figura II. 34 Agua regia y porta objetos	62
Figura II. 33 Desecador 250 Mm	62
Figura II. 32 Lavado con agua regia	62
Figura II. 35 Aerógrafo y porta objetos	63
Figura II. 36 Observación a 40X	64
Figura II. 37 Alambres de Cu como terminales eléctricas en porta objetos	64
Figura II. 38 Multímetro marca Trupper	65
Figura II. 39 Multímetro marca Steren	65

Capítulo III

Figura III. 3 Concentración de 1 % de óxido de estaño en sol-gel	67
Figura III. 4 Concentración de 0.7 mol	67
Figura III. 5 Electrodo de Aluminio	68
Figura III. 6 Electrodo de cobre por método de evaporación térmica en vacío	69
Figura III. 7 Película de Sol-Gel dopado con una capa e intensidad media (10X)	70
Figura III. 8 Película de Sol-Gel dopado con dos capas e intensidad media. (10X)	70
Figura III. 9 Película de Sol-Gel dopado con tres capas e intensidad media. (10X)	70
Figura III. 10 Película de Sol-Gel dopado con cinco capas e intensidad media (10X)	70
Figura III. 11 Película después de 5 min. en agua. (10X con 5 capas)	70
Figura III. 12 Película después de 15 min. en agua. (10X con 5 capas)	70
Figura III. 13 Película después de 20 min. en agua. (10X con 5 capas)	70
Figura III. 14 Película después de 40 min. en agua. (10X con 5 capas)	70

Índice de ecuaciones

Capítulo I

Ecuación I. 1	25
Ecuación I. 1	25
Ecuación I. 2	26
Ecuación I. 2	26
Ecuación I. 3	28
Ecuación I. 3	28
Ecuación I. 4	28
Ecuación I. 4	28
Ecuación I. 5	28
Ecuación I. 5	28
Ecuación I. 6	29

Índice de reacciones

Capítulo I

Reacción I. 1	16
Reacción I. 2	16
Reacción I. 3	16
Reacción I. 4	16
Reacción I. 5	18
Reacción I. 6	18
Reacción I. 7	18
Reacción I. 8	18
Reacción I. 9	18
Reacción I. 10	18

Índice de tablas

Capítulo II

<i>Tabla II. 1 Materiales para Bobina de Tesla</i> _____	50
<i>Tabla II. 2 Cantidades de reactivos utilizados.</i> _____	60

Capítulo III

<i>Tabla III. 1 Concentraciones de Oxido de Estaño</i> _____	66
<i>Tabla III. 2 Datos base de conductividad.</i> _____	71
<i>Tabla III. 3. Datos promedio de sensores</i> _____	71
<i>Tabla III. 4 Resistencia Vs Tiempo en vacío</i> _____	72
<i>Tabla III. 5 Resistencia vs Tiempo en un medio con Ozono</i> _____	73

Índice de gráficas

Capítulo III

<i>Grafica III. 1 Resistencia Vs Tiempo</i> _____	71
<i>Grafica III. 3 Resistencia vs Tiempo en "vacío"</i> _____	72
<i>Grafica III. 4 Resistencia Vs Tiempo en un medio con Ozono</i> _____	73

RESUMEN.

En el presente trabajo se examinan algunos de los aspectos más importantes relacionados con la producción de recubrimientos delgados de sol-gel para el depósito de SnO_2 y algunas aplicaciones de estos como barreras físicas y/o químicas, así como recubrimientos decorativos. Para estas aplicaciones es necesario producir recubrimientos con estructuras delgadas, y con una porosidad adecuada para el depósito del semiconductor. Se muestra como utilizando rutas apropiadas de hidrólisis/condensación, en el proceso sol-gel, es posible preparar recubrimientos con estructuras con la porosidad que se desee. Esto se logra cuando las soluciones precursoras contienen razones molares de $\text{TEOS}/\text{H}_2\text{O}$ mayores a 5.

Así también se muestra como al adicionar partículas de óxido de estaño (SnO_2) en la solución precursora, con ayuda del alcohol, se mantiene la estructura deseada. Se incorpora una metodología rudimentaria para poder adicionar el SiO_2 durante el desarrollo del sol-gel. Elementos semiconductores como lo es en este caso el SnO_2 en concentraciones suficientemente altas para obtener la misma morfología en los recubrimientos que sin el SnO_2 .

Se presenta un modelo sencillo, el cual permite evaluar, de forma cualitativa, el grado de desorden estructural del SiO_2 , observando las estructuras formadas a través del microscopio.

Se analiza y se desarrollan diferentes prototipos simples de electros que cumplen la función de conectar la estructura del sol-gel con un multímetro para poder medir las diferentes variaciones en valores de resistencia que experimente la suspensión de SiO_2 en exposición al O_3 .

INTRODUCCIÓN.

El deterioro de la calidad del aire en zonas urbanas es considerado un problema serio en varias ciudades del mundo (Mage et al, 1996). Esto resulta bastante acertado en diversas ciudades con concentraciones altas de población, en donde la tendencia de migrar del campo a la ciudad tiene como resultado el incremento de la contaminación en el aire. Igual que en la mayoría de las ciudades, los automóviles con sus máquinas de combustión interna son uno de los principales contribuyentes a la mala calidad del aire urbano en las Ciudades Mexicanas (Streit et al, 1996).

La presencia de radicales hidroxilos y de compuestos orgánicos volátiles (COV) en la atmósfera, ya sea de origen natural o antropogénico, provoca cambios en los equilibrios químicos hacia concentraciones más altas.

La mayor parte del ozono en la tropósfera se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) reaccionan en la atmósfera, en presencia de luz solar. Las fuentes antropogénicas más importantes de precursores de ozono son las emisiones vehiculares, las emisiones industriales y los solventes químicos.

A pesar de que estos precursores se originan en áreas urbanas, pueden ser arrastrados por los vientos a lo largo de varios kilómetros, provocando incrementos en la concentración de ozono en regiones menos pobladas. (Dirección de Monitoreo Atmosférico, 2016)

El Ozono (O_3) es una molécula relativamente inestable compuesta de tres átomos de oxígeno (O). A pesar de que sólo representa una fracción muy pequeña de la atmósfera, es indispensable para la vida en la Tierra. Puede proteger o resultar nocivo para la vida, dependiendo de donde se encuentre. La mayor parte del ozono se encuentra en la estratosfera (una capa atmosférica entre 10 y 40 km sobre la superficie), donde actúa como una barrera para proteger la superficie de la Tierra de la perjudicial radiación ultravioleta proveniente del sol. "Otra parte se encuentra en la troposfera" (la capa atmosférica que se extiende desde la superficie hasta aproximadamente 10 km de altura). (Greenbelt, 2001)

De acuerdo a la NOM-020-SSA1-1993 que establece los criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O_3) de la calidad del aire ambiente, en la cual menciona que las concentraciones deben ser menores a 0.095 ppm para el promedio de 1 hora y menores a 0.070 ppm para el promedio de 8 horas (máximo anual).

Hoy en día existe una gran variedad de sensores de ozono disponibles en el mercado a un precio que ronda de los \$20.00 - \$40.00 dolares de los más sencillos, por lo cual se pretende realizar un sensor que presente el mismo desempeño que los que se encuentran en el mercado, tratando de reducir los costos de producción un 30% a los que ofrecen en mercado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La contaminación del aire es una constante amenaza para la salud humana y el ambiente. “Los avances científicos, tecnológicos e investigaciones realizadas mediante el monitoreo ambiental demuestran relaciones de respuestas cada vez más rápidas entre el estado de la calidad del aire, la salud humana y ambiental, así como el equilibrio entre sus variables”. (Brunekreef y Holgate, 2002).

Las afecciones que se presentan sobre varios sistemas vitales de los seres humanos y ecosistemas expuestos a una constante contaminación del aire, tienen un costo psicológico, fisiológico y económico que asumen las sociedades y que tiene un constante y notable incremento en nuestro país”. (Sellers, 2013)

Por ello, es de suma importancia tener las herramientas necesarias para poder medir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos que puedan causar algún problema al medio ambiente y a la salud humana.

El ozono troposférico es uno de los contaminantes atmosféricos que mayores afecciones genera en las capas bajas de la atmósfera. “Su alto poder oxidante hace que, exposiciones prolongadas a elevadas concentraciones de este gas, puedan ocasionar efectos adversos sobre la salud humana, las comunidades vegetales y el medio ambiente en su conjunto”. (Domínguez, 2009)

Es un irritante pulmonar conocido que afecta a las membranas mucosas respiratorias, otros tejidos pulmonares, y la función respiratoria. La exposición a concentraciones elevadas de ozono se asocia con un aumento de las hospitalizaciones por neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, rinitis alérgica y otras enfermedades respiratorias, y con la mortalidad prematura. “Las concentraciones de ozono en el exterior y los patrones de actividad son los principales determinantes de la exposición al ozono”. (Ebi et. al., 2009).

Debido a los problemas que puede ocasionar las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el medio, es necesario hacer mediciones del ozono que permitan tener datos acerca de su concentración, para así poder dimensionar y analizar la calidad del aire que se está respirando, de este modo poder tomar decisiones referentes a los problemas y brindar una solución.

Es importante mencionar que el ozono troposférico es uno de los gases contaminantes más nocivo para la salud humana y su constante monitoreo es imperativo para las autoridades y gobiernos, para prevenir y diagnosticar una contingencia que se pueda dar o en su defecto evitarla.

JUSTIFICACIÓN.

El ozono formado en la baja atmosfera es producido por el efecto conocido como *smog fotoquímico*, debido a la reacción de la luz con óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), como el metano generado por la descomposición de la materia orgánica (Guzmán, et al., 2000). En un Estudio sobre la influencia del gas LP en la formación de ozono en una zona de la Ciudad de México, se demostró que el gas LP influye en la generación de ozono, “otros factores de importancia son los grados de incidencia del sol en la atmosfera lo cual afecta significativamente la actividad fotoquímica del smog”. (Guarnieri, et al, 2004)

El ozono que se encuentra en la estratosfera (capa de ozono) es formado por foto disociación del oxígeno molecular.” Las propiedades ópticas del ozono, en relación a su espectro de adsorción y emisión de radiación, juegan un papel muy importante en numerosos procesos atmosféricos, entre ellos la protección contra la fuerte radiación UV que llega del sol”. (Ospina, 2013).

La motivación para desarrollar este prototipo surge como como alternativa a los sensores que están en el mercado, proporcionando el mismo funcionamiento al medir las concentraciones de ozono que se encuentre en el medio, de acuerdo a la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-020-SSA1-1993. Determinar si las condiciones del aire en cuanto a ozono son las adecuadas para la salud ya que al estar en contacto con este contaminante puede tener síntomas como tos, molestias de garganta, dificultad para respirar o ardor de ojos. La inhalación de este contaminante también afecta el funcionamiento pulmonar en el momento y empeora los ataques de asma. (SIMAT, 2009)

“Para el desarrollo del prototipo algunas variables son muy importantes, esto debido a que pueden reducir la precisión y exactitud del sensor a desarrollar, como son las concentraciones de los reactivos para la generación del sol-gel y el semiconductor, de acuerdo a la bibliografía consultada existen una gran variedad de sensores como Fotómetros solares, el Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR), quimioluminiscentes, sensores de ozono pasivos, hasta los que utilizan cámara de absorción”. (Ospina, 2013). Los sensores ya mencionados presentan ventajas y desventajas, sin embargo, se busca que con este prototipo a desarrollar sea de mayor rendimiento que los que ya existen dentro del mercado estudiado, tomando en cuenta el precio de producción ya señalado.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo General

- Diseñar y construir un prototipo de sensor de ozono utilizando SnO_2 como semiconductor.

Objetivos Específicos.

- Definir un sustrato óptimo para el depósito de la membrana.
- Evaluar las alternativas para la implementación de electrodos que se fijaran sobre el sustrato.
- Determinar los factores adecuados para la elaboración de la membrana sobre el cual se hará la suspensión de SnO_2 .
- Determinar si el sustrato recubierto por la membrana muestra valores de conductividad.
- Hacer pruebas de exposición al medio sin ozono y evaluar la resistencia respecto al tiempo de exposición.
- Determinar el método de generación y exposición de Ozono.
- Realizar mediciones de resistencia en condiciones de exposición de ozono.
- Evaluar las mediciones de Ozono y comparar con un sensor de fábrica.
- Evaluar costo- Exactitud.

Hipótesis.

El método de medición para la detección de Ozono que consiste en una película creada con el método sol-gel con un recubrimiento de Oxido de estaño (SnO_2), pueden resistir los factores ambientales y mantener la precisión y exactitud en comparación con sensores del mercado.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

I. 1. ¿Que es el ozono?

El ozono es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida, es un gas azulado, inestable, con un olor fuerte y penetrante. Es mucho más soluble en agua que el oxígeno, pudiendo ser absorbido por diversos disolventes orgánicos (Domínguez, 2009).

Es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, es inestable cuando se encuentra en altas concentraciones. Bajo condiciones atmosféricas normales, el ozono decae a oxígeno diatómico en un lapso de aproximadamente 30 minutos. Al nivel de la superficie, el ozono en altas concentraciones es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales. Tiene además una contribución al calentamiento global. (Dirección de monitoreo atmosférico, 2016)

Esta sustancia se puede encontrar en las dos primeras capas de la atmósfera, la troposfera y la estratosfera. La mayor parte del ozono atmosférico se encuentra en la estratosfera, en torno al 90% del mismo. El contenido de ozono en la troposfera se aproxima al 10% (Wayne, 2000). El papel de este gas, de una a otra capa es totalmente distinto. Mientras que en la zona estratosférica posee una faceta beneficiosa, al absorber parte de la radiación ultravioleta que proviene del sol, en las capas bajas de la atmósfera, a determinadas concentraciones, se torna como un importante contaminante secundario debido a su elevado poder oxidante (Babor e Ibarz, 1974).

I. 1.1 El Ozono en la atmósfera.

En la estratosfera, el ozono actúa como filtro protector absorbiendo parte de la radiación ultravioleta nociva, procedente del sol, Uv-B con longitudes de onda entre 280 y 320 nm. Esto se debe a que, en esta zona, dicho elemento es la única especie atmosférica capaz de atenuar radiaciones con longitudes de onda superiores a los 230 nm, las cuales podrían afectar negativamente a diversas macromoléculas constituyentes de las células vivas, tales como proteínas y ácidos nucleicos". (Delgado, 2004)

En 1930, Sidney Chapman, físico británico, estableció que, en esta región de la atmósfera, existe un equilibrio natural entre los procesos de formación y eliminación de ozono, el cual viene determinado por el siguiente ciclo de reacciones, “reacciones de Chapman”:



Donde M representa un tercer cuerpo, generalmente N₂ u O₂, que elimina la energía liberada en la reacción 2, al ser esta exotérmica, y estabiliza las moléculas de ozono generadas.

Como se observa en la reacción 1, la absorción de energía por parte de la molécula de oxígeno provoca la ruptura de la misma, originándose dos átomos de oxígeno libres, los cuales reaccionan con el oxígeno molecular formándose ozono según la reacción 2.

Este ozono, por acción de la radiación solar, se disocia en oxígeno atómico y molecular, reacción 3. El oxígeno atómico generado se combina con el ozono para producir oxígeno molecular, reacción 4, que, junto al formado en la reacción 3, inicia de nuevo el ciclo.

La emisión de determinados elementos de origen antropogénico, entre los que destacan los compuestos clorofluorocarbonos, CFCs, los halones y el bromuro de metilo, puede alterar el ciclo de reacciones antes expuesto, dando lugar a la eliminación del ozono en la estratosfera.

La preocupación por las consecuencias adversas que podrían derivarse de este proceso condujo a la comunidad internacional a establecer restricciones en el uso de estas sustancias mediante la firma, en 1987, del denominado Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (PNUMA, 2006).

I. 1.2 El ozono en la troposfera.

A pesar de que el ozono en la troposfera es considerado un gas traza, el papel que desempeña este compuesto en dicha capa es de suma importancia. En esta región de la atmósfera, el ozono es el elemento que inicia las cadenas de oxidación, ya que, indirectamente, produce radicales OH y HO₂, especies altamente oxidantes.

Así mismo, “sin la presencia de ozono en las capas bajas de la atmósfera, gases reducidos como el CO, los hidrocarburos y la mayor parte de los compuestos de azufre y nitrógeno, tenderían a acumularse, con los consiguientes efectos adversos que este hecho originaría”. (Domínguez, 2009)

“Estudios previos indican que la concentración de ozono troposférico, en el hemisferio norte, se ha incrementado en los últimos años (Logan, et al., 1998)

“Si se compara el nivel de ozono actual observado en el continente europeo con el detectado hace un siglo, se observa cómo, actualmente, la concentración de este compuesto se ha duplicado”. (Volz y Kley, 1988).

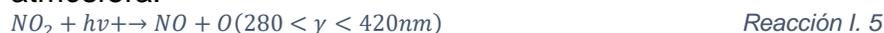
Aunque la tendencia no es uniforme, se puede establecer que el nivel de ozono superficial en latitudes medias del hemisferio norte ha sufrido un continuo incremento en las últimas décadas. Dicho incremento puede ser fijado en, aproximadamente, un 0.5- 2.0% al año. (Vingarzan, 2004).

“A nivel superficial, la concentración de ozono que se detecta en una parcela de aire determinada puede proceder de diversas fuentes, entre las que destacan” (Trainer et al., 2000):

- Los procesos de mezcla vertical que se originan en la troposfera pueden hacer que parte del ozono existente en estratos superiores de la capa límite planetaria descienda hasta la capa de aire más cercana a la superficie.
- Mediante la advección horizontal, el ozono generado en otras zonas puede ser transportado, o formado durante este transporte, hacia los lugares en los que se encuentran las estaciones de medida.
- Formación fotoquímica “in situ” a partir de sus precursores, mediante el conjunto de reacciones que se presentarán a continuación.

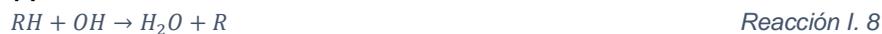
I. 1.3 Procesos de formación de ozono troposférico.

En la troposfera, donde únicamente se detectan radiaciones con longitudes de onda mayores a 280 nm, la principal fuente de oxígeno atómico es la fotólisis del NO₂, reacción 5. El oxígeno atómico obtenido durante este proceso reacciona con el oxígeno molecular presente en el ambiente de forma natural para formar ozono según la reacción 6. En ausencia de otros agentes oxidantes “competidores”, este ozono reacciona rápidamente con el NO para generar NO₂, véase reacción 7. Este ciclo de reacciones conduce a la formación de ozono en las capas bajas de la atmósfera.



La presencia de COVs en el aire ambiente “rompe” el ciclo anteriormente descrito.

Durante la oxidación de este grupo de compuestos se producen radicales peróxido orgánicos, RO₂, mediante la reacción con radicales hidroxilos, reacciones 8 y 9. Los radicales peróxido presentan una mayor afinidad de reacción con el NO que el ozono. De este modo, la presencia de los mismos en la troposfera hace que la oxidación del NO se lleve a cabo según la reacción 10, en detrimento de la reacción 7.



Por tanto, “la existencia de COVs produce la acumulación de ozono en las capas bajas de la atmósfera, dado que, por un lado, se incrementan las concentraciones de NO₂ y, por otro, no se consume ozono, al ser este desplazado por los radicales RO₂ durante el proceso de oxidación del N^o. O (Bloemen y Burn, 1995).

Además de la anteriormente descrita, “existen otras vías de producción de ozono en la troposfera entre las que destacan la oxidación del monóxido de carbono y la oxidación del metano” (Chameides, 1986). “La prevalencia de una u otra vía dependerá de la abundancia de cada uno de dichos (combustibles reactivos)”. (Finlayson-Pitts y Pitts, 1993).

I. 1.4 Afecciones a la salud humana

El ozono troposférico tiene efectos nocivos en la salud humana y animal, así como en el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos por reducirlo en los tres países, sus concentraciones aún exceden las normas nacionales de calidad del aire en algunas zonas de América del Norte.

El ozono troposférico, componente básico del esmog, se considera un problema “sin umbral” porque incluso en muy pequeñas cantidades en el aire tiene efectos nocivos en la salud humana, en particular los sistemas cardiovascular y respiratorio. La exposición al ozono se ha vinculado con la mortalidad prematura y una gama de cuestiones de morbilidad, como admisiones en hospitales y síntomas de asma. Luego de analizar la contaminación atmosférica y los datos sobre mortalidad de ocho ciudades canadienses importantes, el Ministerio de Salud de Canadá calculó que en esos centros urbanos casi 6,000 muertes al año se podían atribuir a la contaminación atmosférica, cuyo componente mayoritario es el ozono troposférico. De acuerdo con la Asociación Médica de Ontario, los costos de la contaminación para los residentes de esa provincia ascienden a más de mil millones de dólares canadienses al año en admisiones hospitalarias, visitas a las salas de urgencias y ausentismo. En Estados Unidos los estudios de 95 importantes zonas urbanas realizados por investigadores de Yale y Johns Hopkins revelan que el aumento de los niveles diarios de ozono se asoció con más de 3,700 muertes anuales por enfermedades cardiovasculares y respiratorias. El ozono troposférico también daña la vegetación, la productividad de los cultivos, las flores, los matorrales y los bosques. Es más, puede deteriorar el algodón y los materiales sintéticos, producir roturas en el caucho, acelerar el desteñido de ciertas pinturas y recubrimientos (Bravo et al, 2001).

Así pues, en muchos casos y dependiendo de las condiciones climatológicas el Ozono puede dañar nuestra salud, mayormente en días calientes y soleados, cuando puede alcanzar niveles dañinos. Valores incluso relativamente bajos de ozono pueden causar efectos negativos en la salud. Los niños, las personas con problemas pulmonares, los adultos mayores y las personas activas fuera de las viviendas, incluyendo quienes trabajan al aire libre, pueden ser particularmente sensibles a su efecto. Los niños son los que presentan más riesgos a la exposición del ozono, porque sus pulmones se están desarrollando aún y son los más propensos a encontrarse realizando actividades al aire libre cuando los niveles de ozono son altos, lo que incrementa la exposición. Son también más propensos que los adultos a padecer asma. (Arnaldo González A., 2018).

I. 1.5 Efectos sobre las vías respiratorias

El ozono es un potente oxidante que puede irritar las vías respiratorias causando tos, ardencia, resuello, falta de aire; puede agravar el asma y otras dolencias pulmonares.

Respirar ozono puede generar una variedad de problemas de salud incluyendo dolor en el pecho, tos, irritación de la garganta y congestión. Puede empeorar la bronquitis, enfisemas y el asma. El ozono ambiental puede también disminuir la función de los pulmones e inflamar la envoltura pulmonar. La exposición repetida puede dañar de forma permanente el tejido pulmonar.

El ozono puede:

- Hacer más difícil una respiración profunda y vigorosa.
- Causar falta de aire y dolor cuando se hace una aspiración profunda.
- Causar tos y dolor o irritación en la garganta.
- Inflamar y dañar las vías respiratorias
- Agravar dolencias pulmonares como asma, enfisema y bronquitis crónica.
- Incrementar la frecuencia de los ataques de asma.
- Hacer los pulmones más susceptibles a infecciones.
- Continuar dañando los pulmones incluso cuando los síntomas han desaparecido.

I. 1.6 Alvéolos rellenos de aire.

El ozono es capaz de causar la contracción de los músculos en las vías respiratorias, atrapando aire en los alvéolos. Esto conduce al resuello y a la falta de aire. En personas con asma puede generar ataques.

Estos efectos pueden conducir a incrementar las ausencias a clases, el uso de medicamentos, las visitas al médico y los servicios de urgencia y los ingresos en hospitales. Las investigaciones también indican el riesgo de muerte prematura por dolencias en el corazón o los pulmones.

El ozono es particularmente propenso a alcanzar niveles perjudiciales en días calientes y soleados en un ambiente ciudadano. Es una parte importante en el smog urbano. Puede ser transportado a grandes distancias por el viento y, por esta razón, incluso las áreas rurales pueden experimentar grandes niveles de ozono. En algunos casos puede presentarse durante todo el año en regiones sureñas y montañosas.

I. 1.7 Inflamación de las vías respiratorias.

Junto a la inflamación aparece un flujo de glóbulos blancos, se incrementa la formación de mucosidad y la acumulación y retención de fluidos. Esto causa la muerte y efusión de células en las vías respiratorias. El proceso es comparable a la inflamación de la piel causada por las quemaduras solares. (Arnaldo González A., 2018).

I. 1.8 NOM-020-SSA1-2014.

Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente.

En la actualidad, los problemas relacionados con la contaminación atmosférica y el deterioro de la calidad del aire se han convertido en una prioridad de las grandes ciudades, los cuales se han incrementado como consecuencia del creciente desarrollo industrial y el incremento del flujo vehicular, principalmente. La contaminación atmosférica se ha venido incrementando tanto a nivel mundial como en países de América Latina. En México, la calidad del aire se ha visto afectada por la presencia de múltiples contaminantes (partículas, dióxido de nitrógeno, ozono, etcétera), lo que representa un serio problema de salud pública y deteriora la calidad de vida de sus habitantes. Cada vez son más las personas expuestas a concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos que representan un riesgo alto de sufrir daños irreversibles en su salud, lo que transgrede el derecho humano a disfrutar de un ambiente limpio y sano, y a vivir con una mejor calidad de vida.

Las normas de salud ambiental en materia de contaminación atmosférica son un instrumento regulatorio que pretende contribuir a que se cumplan los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire en el territorio nacional, a fin de garantizar la protección de la salud de la población. Las políticas públicas para mejorar la calidad del aire implementadas en los últimos 20 años en el Valle de México, han permitido reducir los niveles de algunos de los contaminantes criterio, dentro de ellos se encuentra el ozono, reduciendo sus concentraciones promedio de manera continua desde 1992, representando una disminución neta del 33% en el año 2010.

Las investigaciones epidemiológicas para evaluar la asociación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y sus efectos en la salud, incluyen ausentismo escolar, repercusiones en la calidad de vida de poblaciones susceptibles, así como sintomatología respiratoria. Sin embargo, actualmente el umbral de efectos estudiados abarca desde efectos subclínicos a nivel molecular hasta el incremento en el número de muertes derivadas de la exposición. Se ha reportado que cerca del 50% de la población escolar en zonas donde las concentraciones a ozono son elevadas (0.130-0.220 partes por millón [ppm]), llegan a faltar al menos 1 vez cada 3 meses, debido a alguna afección respiratoria y cerca del 11.7% falta en dos o

más ocasiones. Por otro lado, concentraciones cercanas a 0.050 ppm han favorecido un incremento del 43% al 133% en las visitas a consultas de urgencias por exacerbaciones de asma en población infantil de 1 a 4 años. Asimismo, en concentraciones de 0.040 a 0.050 ppm, se reportó un aumento del 19.1% al 35% en hospitalizaciones por enfermedades respiratorias agudas en menores de 2 años. Un estudio realizado en la Ciudad de México en menores de 15 años, estimó que, por cada incremento de 0.050 ppm en la concentración diaria de ozono, ocasionaría que, al día siguiente de la exposición, la demanda de consultas de urgencias por infecciones respiratorias altas, durante el periodo invernal se incrementen en un 9.9%.

En un estudio realizado en Ciudad Juárez se reportó un aumento de 2.96% en consultas por infecciones respiratorias altas en menores de 15 años, un día después de haberse presentado un incremento de 0.020 ppm en la concentración de ozono. Otro estudio realizado en la misma Ciudad 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 3 días, en la población infantil menor o igual a 5 años, a su vez se encontró asociación 4 días después de la exposición a concentraciones máximas de promedios móviles de 8 horas y el aumento de 12.7% en las consultas por infecciones de las vías respiratorias. A pesar de que los niveles establecidos en la norma vigente, se rebasaron únicamente en 14 días durante 5 años, se concluye que aun a niveles de ozono por debajo de la norma, existió afectación en la salud respiratoria de la infancia.

En la Ciudad de México se reportó un aumento en síntomas respiratorios como sibilancia y tos (9% y 10%, respectivamente), así como mayor uso de broncodilatadores (9%) en niñas y niños asmáticos, por cada incremento de 0.048 ppm de ozono en la concentración máxima de 1 hora para un día anterior de exposición. De igual forma se observó un aumento de 0.5% en la frecuencia de síntomas oculares como: irritación de los ojos, picor, ardor, ojos llorosos, ojos rojos e infección ocular, por cada incremento de 0.010 ppm de ozono. Otro estudio en la Ciudad de México reporta que por cada incremento en el rango intercuartil de 0.020 ppm en el promedio móvil de 8 horas de ozono, hay un incremento significativo en la inflamación de vías aéreas, tanto en niños asmáticos como en quienes no tienen el antecedente de la enfermedad. Por otra parte, se han reportado incrementos del 9% en el número de casos de enfermedades respiratorias bajas en población en edad preescolar con asma moderado, por cada incremento de 0.050 ppm en la concentración máxima de 1 hora de ozono, así como un aumento del 11% en la frecuencia de síntomas respiratorios como tos bajo a esos mismos niveles de exposición.

En estudios sobre función pulmonar en niñas y niños asmáticos y no asmáticos, incluidos en el apartado de Bibliografía de esta Norma, se reportan disminuciones

significativas después de semanas de seguimiento, observándose que por cada incremento de 0.010 ppm en la concentración de ozono un día antes de las pruebas espirométricas, niñas y niños con asma moderado y severo tuvieron una disminución en el flujo espiratorio forzado de -13.32 mililitros, el volumen espiratorio forzado en un segundo fue de -4.59 mililitros, mientras que el flujo espiratorio pico registró valores de -15.01 mililitros. En un estudio de seguimiento realizado en la Ciudad de México se concluyó que el incremento en la exposición promedio anual de ozono de 0.0113 ppm se asoció con un déficit anual de 12 mililitros en niñas y 4 mililitros en niños en el volumen espiratorio forzado en un segundo. Aunado a los efectos sobre la función pulmonar, se han reportado incrementos en biomarcadores de inflamación en vías respiratorias por la exposición a ozono, como es el caso del malonaldehído, para el cual se observó un aumento de 1.16 nanomoles cuando la concentración del promedio móvil de 8 horas se incrementaba en 0.0159 ppm. En la evaluación de potencial de hidrógeno (pH) del aire exhalado condensado de niñas y niños asmáticos, se observó una alta concentración de especies reactivas del oxígeno y especies reactivas de nitrógeno, reflejando cambios en el tracto respiratorio inferior durante la inflamación y afectando los niveles de pH, que en el caso de niñas y niños asmáticos disminuyó en 0.07 unidades por cada incremento de 0.022 ppm del promedio móvil de 8 horas. Esta acidificación puede contribuir a la exacerbación de la fisiopatología del asma.

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud reconoce que aun por debajo de una concentración promedio de 8 horas de 0.050 ppm, pueden producirse algunos efectos en la salud de la población expuesta. Señalando también que la exposición a este nivel de ozono se asocia con efectos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones de adultos jóvenes sanos que hacen ejercicio expuestos durante periodos de 6,6 horas, con efectos en la salud de la población infantil y un aumento de 3-5% de la mortalidad diaria.

Recientemente, se ha investigado la relación entre los factores genéticos y los efectos del ozono en personas con diferentes características genéticas, observándose que individuos con deficiencias en la expresión de genes relacionados con la respuesta al estrés oxidativo inducido por el ozono pueden ser más susceptibles a efectos nocivos sobre las vías respiratorias. Como es el caso observado en individuos con delección homocigota del gen GSTM1 para los cuales se ha asociado la disminución de 2.9% en el flujo espiratorio forzado por incremento de 0.050 ppm de ozono. Se ha sugerido que la suplementación con vitaminas y modificaciones en la dieta, podría ofrecer cierta protección contra la respuesta inflamatoria nasal aguda inducida por ozono y cambios en la función pulmonar.

I. 1.9 Afecciones a la salud de especies salvajes

También hay efectos sobre otras especies. Los ecosistemas acuáticos pueden ser los más amenazados. El fitoplancton, los organismos microscópicos unicelulares que viven y hacen fotosíntesis mientras navegan en la superficie del océano son la base de toda la cadena alimenticia de la vida marina. Los estudios muestran que un 25% de reducción del ozono deprimirá la productividad del fitoplancton en un 35%. Una gran destrucción de fitoplancton podría amenazar a toda la cadena de alimentos y a la resultante descomposición que podría aumentar los niveles de dióxido de carbono incrementando así el calentamiento de la atmósfera. La complejidad de las interrelaciones del sistema tierra son evidentes. Un error de movimiento de los seres humanos puede poner en marcha una catástrofe de eventos en cadena que vaya mucho más allá de nuestro control.

I. 2. Acerca de los sensores

I.2.1 ¿Qué es un sensor?

Un sensor puede definirse como un "dispositivo que detecta y responde a algún tipo de entrada del entorno físico. La entrada específica podría ser luz, calor, movimiento, humedad, presión o cualquiera de una gran cantidad de otros fenómenos ambientales. La salida es generalmente una señal que se convierte en una pantalla legible para humanos en la ubicación del sensor o se transmite electrónicamente a través de una red para lectura o procesamiento adicional "(Sensor, nd).

El uso de sensores para el monitoreo ambiental no es nuevo y ha estado funcionando durante décadas en varias formas (Ottinger, 2010; Conrad & Hilchey, 2011 ; O'Donovan, 2013 ; Pitt, 2014).

Los sensores se han utilizado para historias de investigación en una variedad de aplicaciones para uso pasivo (es decir, que consiste en un bote que recoge partículas de aire o gases) y / o uso electrónico (es decir, incorpora una pequeña computadora para recopilar los datos).

En WNYC en Nueva York, usaron sensores para rastrear insectos llamados cigarras. "WNYC descubrió que las cigarras podían predecirse en función de la temperatura del suelo. Por lo tanto, WYNC creó un sensor electrónico de código abierto que los ciudadanos podían usar para colocar su tierra en sus propios patios traseros para rastrear la predicción de la llegada de cigarras al noreste. 1,700 lecturas de temperatura de 800 ubicaciones diferentes de la comunidad. Una vez que comenzó el verano, llegaron 4,300 informes de dónde estaban las cigarras (Pitt, 2014; O'Donovan, 2013)

En 2016 en India, el Hindustan Times lanzó un proyecto para medir la calidad del aire mediante el mapeo de la calidad del aire en tiempo real desde las estaciones de monitoreo en todo el país y también calibrando los datos de la calidad del aire utilizando sensores de bricolaje de bajo costo en Delhi (Wang, 2016).

I. 2.2 Clasificación de los sensores

Los sensores hoy en día se pueden clasificar de la siguiente forma (IEEE, 1987):

- Según aporte de energía
 - Moduladores: precisan una fuente externa de alimentación.
 - Generadores: toman únicamente la energía del medio donde miden.
- Según la señal de salida
 - Analógicos: la salida varía de forma continua. Normalmente la información está en la amplitud. Cuando la información está en la frecuencia se denominan “cuasi-digitales”.
 - Digitales: la salida varía en pasos discretos.
- Según el modo de funcionamiento
 - Deflexión: la magnitud medida genera un efecto físico (deflexión).
 - Comparación: se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto opuesto al generado por la magnitud medida.
- Según la relación entrada-salida:
 - orden cero, 1er orden, 2º orden
- Según el principio físico:
 - resistivo, capacitivo, inductivo, termoeléctrico, piezoeléctrico,
- Según la magnitud medida:
 - temperatura, presión, aceleración, pH

I. 2.3 Técnicas de medición de ozono

I. 2.4 Fotómetros solares.

El principio de medición de estos instrumentos se basa en la ley de absorción de Beer-Lambert que consiste en relacionar la intensidad de luz entrante en un medio con la intensidad saliente después de que en dicho medio se produzca absorción. Matemáticamente la ley de Beer-Lambert se expresa así (Komhyr *et al.*, 1993):

Ecuación ley de Beer-Lambert

$$T = \frac{I(z)}{I_0} = e^{-kz}$$

Ecuación I. 1

donde T es la transmitancia, $I(z)$, I_0 son las intensidades de luz con absorción y sin absorción respectivamente, k es el coeficiente de atenuación, y z es longitud del camino de transmisión.

El coeficiente de atenuación debido a la atmósfera está determinado por cuatro procesos individuales: absorción molecular, dispersión molecular, absorción por aerosoles, y dispersión por aerosoles, esto se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

Ecuación coeficiente de atenuación

Ecuación I. 3

$$K = \alpha_m + \beta_m + \alpha_a + \beta_a$$

donde α es el coeficiente de absorción y β es el coeficiente de dispersión; los subíndices *mm* y *aa* designan los procesos moleculares y de aerosol, respectivamente. Cada coeficiente en la ecuación (2) depende de la longitud de onda de la radiación.

I. 2.5 El Método Lidar (Light Detection and Ranging)

El mayor uso científico del LIDAR es la medida de propiedades de la atmósfera terrestre. En 1930, Synge fue el primero en proponer que se podía determinar la densidad atmosférica a partir de la detección de luz dispersada de un haz de luz proyectado a la atmosfera. Duclaux, en el mismo año, obtuvo resultados similares utilizando una fotografía de luz dispersada del haz de un reflector a una distancia de 2.4 km y a una altura de 3.4 km. En 1936, Hulbert realiza cálculos de perfiles de densidad atmosférica, al fotografiar un haz a una altitud de 28 km. En 1938, Bureau usó el primer sistema monostático para determinar la altura de las nubes usando una fuente de luz pulsada. En ese año Elterman calculó perfiles de densidad hasta una altura de 67.6 km, usando un sistema biestático.

Más adelante, en 1956, Friedland y sus colaboradores reportaron el uso del primer sistema monoestático pulsado para medir la densidad atmosférica. En 1960, la invención del láser provee una nueva y potente fuente de luz para los sistemas LIDAR, de esta manera, en 1962, Smullins y Fiocco reportaron el primer uso del láser en un sistema LIDAR, al detectar luz láser dispersada desde la superficie lunar usando un láser de rubí que emitía pulsos de 0.5 J a 694nm, luego detectaron luz retrodispersada por la atmósfera usando el mismo sistema láser.

La mayoría de los LIDAR que determinan la concentración de especies gaseosas en la atmosfera usan técnicas DIAL. Esta técnica usa dos o más longitudes de onda para medir la diferencia en la absorción de la señal LIDAR cuando la frecuencia del láser es modificada entre una longitud de onda que es absorbida por moléculas en la atmósfera y una longitud de onda que no es absorbida. La intensidad de las dos longitudes de onda que son retrodispersadas, al instrumento DIAL, pueden ser usadas para determinar la atenuación óptica debido a las especies y así, sus concentraciones.

Esta atenuación esta descrita por la ley de Beer-Lambert en la ecuación (1.0). Esta técnica ha sido exitosamente usada en medidas espacio temporales de especies como NO, H2O, O3, SO2, y CH4 en la baja atmósfera. El uso de la técnica DIAL en la atmósfera media ha sido restringido principalmente a la medida de perfiles de ozono. Típicamente, un DIAL para medir ozono estratosférico (Figura 2) “usa un láser de XeCl3 que opera a 308nm para la línea “on”, o longitud de onda absorbida, y el tercer armónico de un YAG4 a 355nm para la línea “off”, o longitud de onda de referencia”. (Nisperuza 2010).

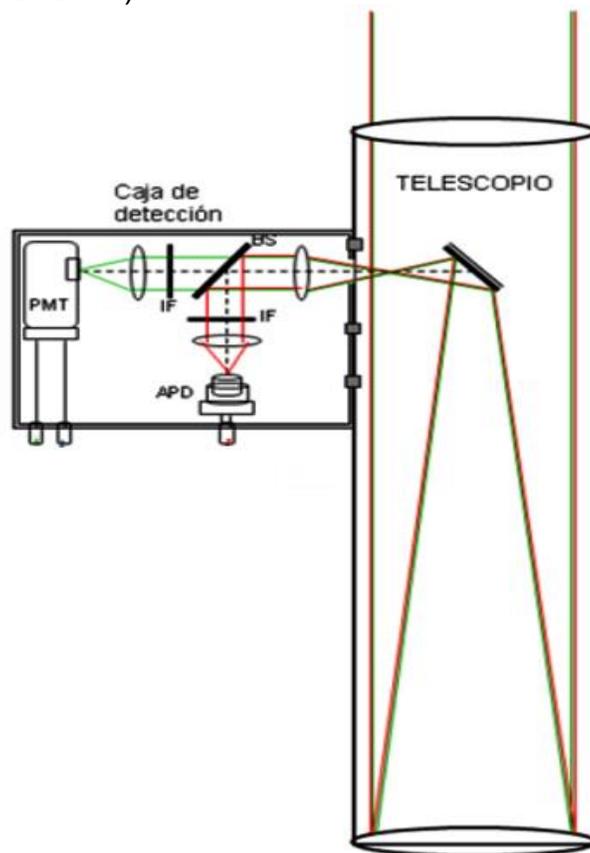


Figura I. 1 Sistema Lidar

I. 2.6 Método de Quimioluminiscencia.

La quimioluminiscencia es una de las técnicas utilizada para la medida en continuo de ozono en aire ambiente, y se basa en la detección de fotones producidos en la reacción exotérmica entre Etileno (C₂H₄) y Ozono (O₃).



Reacción I. 11

La intensidad de la emisión de luz quimio luminiscente (350-550nm) es proporcional a la concentración de ozono de la muestra en el aire siempre que el etileno esté en exceso. Otras olefinas alifáticas dan también quimioluminiscencia con ozono, a bajas presiones (Delgado, 2004).

Los flujos regulados de aire de muestra y etileno se mezclan en la cámara de reacción donde los fotones producidos son detectados por un tubo fotomultiplicador, cuya fotocorriente de salida es luego amplificada y procesada electrónicamente. La ventaja del sistema etileno-ozono es que, a presiones cercanas a la atmosférica, la emisión quimio luminiscente que se produce es fácilmente detectable, lo que permite simplificar el sistema de captación de muestra. “Este método es adecuado para la medida de concentraciones de ozono en el rango de 0,001 a 100 ppm y la respuesta es lineal en este rango siempre que los flujos de muestra y de etileno se mantengan constantes. No existen interferencias conocidas, el tiempo de respuesta es del orden de 1 segundo y puede alcanzarse una precisión del 2% a 50 ppb de ozono”. (CIEMAT, 2002).

I. 2.7 Medidores de ozono pasivo.

Los captadores pasivos para la captación de gases se rigen por la Ley de Fick, la cual relaciona el flujo de un gas que difunde desde una región de alta concentración (extremo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante.

$$F = D \frac{[X]}{L} \quad \text{Ecuación 1. 5}$$

Siendo:

F Flujo del contaminante X, en moles por centímetro cuadrado y minutos (mol/cm².min)

D Coeficiente de difusión del gas, en centímetro cuadrado por minutos (cm²/min)

[X] Concentración ambiente del contaminante X, en moles por centímetro cúbico (mol/cm³)

L Longitud de la zona de difusión, en centímetros (cm)

En el difusor pasivo existe un volumen de aire donde se produce un gradiente de concentraciones desde la parte externa del volumen en contacto con el ambiente exterior y con una concentración ambiental, hasta la parte interna, donde se encuentra el agente absorbente, y que tiene una concentración nula de dicho contaminante a determinar. Este gradiente de concentraciones producido es la fuerza que mueve al contaminante por difusión a través del captador hasta llegar al absorbente.

Para determinar la concentración del contaminante se tiene que:

$$Q = F * a * t = D * \frac{[X]}{L} * a * t \quad \text{Ecuación 1. 7}$$

Como:

$$S = D * \frac{a}{L} \rightarrow Q = S * [X] * t \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación 1. 8} \\ \text{Ecuación 1. 9} \end{array}$$

Despejado:

$$[X] = \frac{Q}{S * t}$$

Ecuación I. 11

Por lo tanto, “conociendo el coeficiente de captación (S) del captador pasivo, la cantidad de gas en moles que ha difundido a través del captador (Q) y el tiempo que ha estado expuesto (t) se conocerá la concentración ambiental del contaminante X [X] en el aire durante el periodo de muestreo”. (Delgado, 2004).

En 1991 desarrollan en la Universidad de Harvard, el captador pasivo para ozono “Ogawa”, basado en la impregnación de los filtros captadores con una solución de iones Nitrito que al reaccionar con ozono se oxidan a ion Nitrato.

La cantidad de ozono se obtiene al medir por cromatografía iónica el volumen de iones Nitrato (Liu *et al.*, 1993). El captador pasivo Ogawa (Figura 5) consta de un cuerpo polimérico cilíndrico (de 2 cm de diámetro x 3cm de longitud) y un broche dentado (4 x 3 cm). Tiene dos cavidades en los extremos del cilindro, cada una de las cuales custodia entre dos rejillas de acero inoxidable un filtro impregnado. Las cápsulas de difusión cubren y fijan los filtros y las rejillas (Delgado, 2004)

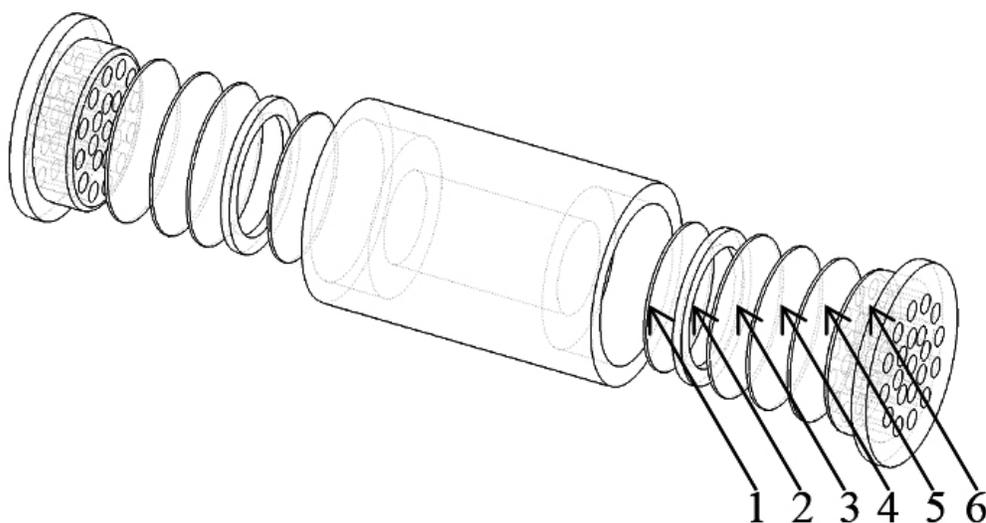


Figura I. 2 Componentes del captador pasivo Ogawa

- Almohadilla sólida.
- Anillo de retención de la almohadilla.
- protector inoxidable.

- Filtro de recolección recubierto.
- protector inoxidable.
- Tapa final difusora.

El método Ogawa tiene un uso ampliamente contrastado en campañas de medición del ozono troposférico en la ciudad de Toronto desde 1995, en Ciudad de México desde 1995 y en California desde 1997. El gobierno de los Estados Unidos, en el Servicio de Parques Nacionales utiliza actualmente desde el año 1994 la metodología de captadores pasivos Ogawa® para medir el ozono troposférico en una treintena de Parques Nacionales.

I. 2.8 Primeras detecciones.

El científico holandés *Martinus Van Marun* (1750-1837) fue el primero en describir el intenso y característico olor que sigue a las descargas eléctricas en presencia del oxígeno. La presencia de ozono en la baja atmósfera fue detectada también por el químico alemán *Christian F. Schöbein* en 1840, quien, durante sus estudios de la descomposición electrolítica del agua detectó un olor irritante que no podía asociar a ninguno de los gases conocidos en la época. Este olor se lo atribuyó a una nueva especie a la que denominó ozono, del griego “ozein”, oler.

Soret y Andrews realizaron entre 1863 y 1874 la primera identificación química, y establecieron que el ozono es una forma alotrópica del oxígeno constituido por tres átomos de oxígeno (Figura 1).

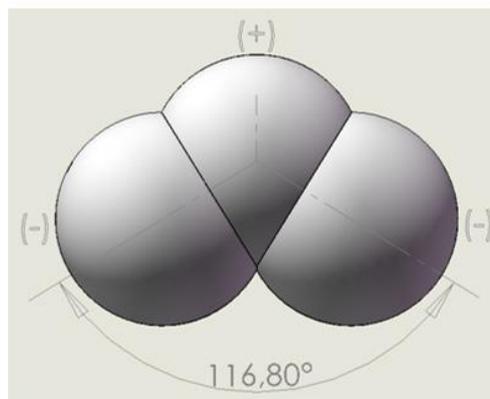


Figura 1. 3 Molécula de Ozono.

Houzeau, en 1858, demostró químicamente la existencia de ozono en la atmósfera usando papeles impregnados con una solución de Yoduro de Potasio que contenía Almidón (test ozonométricos). Este método desarrollado por *Schönbein*, “es un procedimiento cualitativo de medida; el tono azulado del papel indica la cantidad de

ozono en el aire sobre una escala relativa de 1-10. Con este método *Boeckel* observó en 1865 que el ozono troposférico presentaba ciclos diarios y estacionales”. (Delgado, 2004).

En 1881 Hartley utilizando un tubo de 90cm de largo, cerrado en ambos extremos por unas placas de cuarzo y lleno de una mezcla de oxígeno y ozono, descubrió que el ozono contenía una banda ancha y muy intensa de absorción entre 233 y 285nm, con un máximo de absorción alrededor de los 256nm.

Años más tarde Hartley, basado en las observaciones realizadas en 1863 por Miller, concluyó que el constituyente que absorbe en la atmósfera era el ozono, puesto que los límites del espectro solar corresponden a los límites de absorción debida al ozono.

En 1882, el físico francés Chappuis enfrió una mezcla de oxígeno y ozono por medio de etileno líquido, y obtuvo ozono en forma de gotas dando como resultado un fluido de color azul oscuro, a una temperatura de -112°C. Chappuis encontró que el ozono poseía al menos 11 picos de absorción en sus bandas de la parte visible del espectro.

De ellas, las más intensas fueron dos bandas: entre 609.5, 593.5nm y 577, 560nm. En 1890, el astrónomo inglés Huggings, estudiando el espectro de la estrella sirio, descubrió un grupo de seis bandas de absorción en las longitudes de onda de 333.8, 332.6, 331.1, 327.8, 325.4 y 319.9nm, que fueron denominadas “bandas de Huggins”.

Él no las identificó como las bandas de absorción del ozono atmosférico si no que las consideró una simple característica del espectro de sirio. En 1908, Angstrom detectó una serie de bandas de absorción en la región infrarroja del espectro del ozono y estimó sus correspondientes longitudes de onda en 480, 580 y 910-1000nm.

Los test ozonométricos fueron ampliamente usados hasta la década de 1920, en este año, el físico y meteorólogo Británico Gordon Miller Bourne Dobson, con el propósito de investigar la circulación atmosférica, construyó el primer instrumento para medir los cambios en el ozono atmosférico, más tarde llamado “espectrofotómetro de Dobson”.

En honor a este investigador, se creó la Unidad Dobson (UD) utilizada en la actualidad para indicar los niveles de ozono. Una UD equivale a 0,01 milímetros de espesor de capa de ozono en condiciones normales de presión y de temperatura (1 atmosfera y 0 °C); “expresado en número de moléculas; una UD representa la existencia de 2.69×10^{16} moléculas por centímetro cuadrado de ozono” (Cuevas, 1995).

Durante la primera mitad del siglo XIX, el estudio del comportamiento del ozono troposférico suscitó un gran interés en la comunidad científica de la época, dado que, se pensaba erróneamente, que la presencia de este compuesto en el aire

poseía efectos beneficiosos para la salud humana, debido al poder desinfectante que presenta dicha sustancia. (Domínguez, 2009)

Así, en esta época, se dan los primeros pasos para intentar determinar el nivel de ozono presente en el aire ambiente. De este modo, se instalaron lo que podrían constituir las primeras estaciones de medida de ozono troposférico, las cuales se dotaron, además, de cierto instrumental meteorológico. No obstante, las técnicas empleadas, entre las que destaca el uso de “papeles ozonométricos”, eran bastante rudimentarias, suministrando tan sólo información de carácter cualitativo. Estos estudios trataban de identificar “zonas saludables” que serían aquellas en las que los niveles de ozono fueran más elevados, con el tiempo se demostró que esta creencia era totalmente errónea.

El descubrimiento del denominado “agujero de ozono”, provocó que, hasta mediados del siglo XX, los esfuerzos de la comunidad científica se centraran en esta materia, destinándose la mayor parte de los recursos disponibles a este campo. En este período, el estudio del ozono troposférico quedó relegado a un segundo plano. Diversos trabajos realizados en la segunda mitad del siglo XX, pusieron de manifiesto las importantes consecuencias negativas que podrían derivarse de la exposición a elevadas concentraciones de ozono en la baja atmósfera (Hammer et al., 1974; McCool et al., 1987). Además, durante estos años, las medidas adoptadas con objeto de minimizar y/o erradicar la degradación del ozono estratosférico comenzaron a dar sus frutos. Estos factores hicieron recobrar nuevamente el interés por el estudio del ozono troposférico. (Domínguez, 2009).

I. 3. El solgel

El proceso “sol-gel” es utilizado para describir la preparación de vidrios y óxidos inorgánicos por métodos químicos donde los compuestos precursores pueden ser sales inorgánicas o compuestos metal-orgánicos (SCHERER et al., 1987). La palabra “sol” describe la dispersión de coloides en líquidos. Los coloides pueden ser descritos como partículas sólidas de diámetros comprendidos entre 20 y 2000 Å cada una de las cuales contienen entre 1000 y 10⁹ átomos. (Uvage et al., 1982)

Probablemente, los geles inorgánicos más ampliamente estudiados sean los geles de sílice y silicatos. De hecho, Thomas Graham realizó en 1864 amplias investigaciones del gel de sílice. En 1679, se obtuvo un vidrio uniforme de color rubí oro que puede ser considerado como el primer material realizado mediante el proceso “sol-gel”, dispersión de coloides en un vidrio (Hench et al., 1984.)

Los primeros productos comerciales aparecieron en el mercado hacia el año 1953. Un ejemplo de estos primeros productos fue la comercialización a gran escala de espejos de automóviles ($TiO_2SiO_2 - TiO_2$) en 1959 y continuó con la producción de recubrimientos antireflexión ($TiO_2 - SiO_2 - TiO_2 - SiO_2$) en 1964. A partir de entonces, “la comercialización de nuevos productos ha aumentado notablemente”. (Dislich et al,1982)

El principal motivo para el desarrollo de este proceso es debido a que muchos de los vidrios obtenidos poseen una composición química idéntica con respecto a los vidrios obtenidos convencionalmente, es decir, mediante la fusión de los óxidos respectivos y posterior enfriamiento.

El proceso “sol-gel” no involucra la fusión de mezclas de materiales en crudo sino que se produce la mezcla de soluciones líquidas, generalmente a temperatura ambiente, las cuales reaccionan vía hidrólisis y polimerización y posterior deshidratación originando el gel sólido.

El gel se libera de la mayor parte de los constituyentes orgánicos e hidroxilos para así densificar y dar lugar al vidrio. Frecuentemente, la temperatura que se necesita para la conversión del gel en vidrio no excede de la temperatura de transición vítrea. Así, es de interés científico investigar si la estructura y microestructura de los vidrios obtenidos mediante el proceso “sol-gel” es similar a los vidrios obtenidos por fusión.

Tecnológicamente, es también importante hacer comparaciones entre los dos procesos de preparación de vidrios con la misma composición química. (Rubio Alonso, 1994)

I. 3.1 Estado Del Arte Sol-Gel.

Muchas de las tecnologías tempranas se perdieron en los tiempos oscuros después de la caída del Imperio romano y probablemente, el siguiente desarrollo significativo fue el descubrimiento del “vaso de agua” por Von Helmont en 1644, quien disolvió materiales de silicato (piedras, arena, cuarzo) en álcali y encontró que acidificando se obtenía un precipitado de sílice igual en peso que los materiales de sílice originales.

En 1779, Bergman reportó que, si se utilizaba una cantidad correcta de ácido diluido, la mezcla gelaba. “Este tipo de preparación de gel de sílice guio a una serie de remarcadas aplicaciones a la actual química sol-gel”. (Wright y Sommerdijk, 2001)

También en el siglo XIX se prepararon muchos materiales de óxido a partir de geles de hidróxido. Siguiendo la preparación de la zirconia por medio de geles de hidróxido de zirconio, en 1832 Berthier utilizó una mezcla cúprica y sales de zirconio tratadas con amoníaco y posteriormente calentadas para producir un zirconato de cobre verde. En 1842, Ebelmen reportó “la síntesis del óxido de uranio por medio del calentamiento de hidróxido y en 1892 Von Chroustchoff calentó mezclas de geles de hidróxido de zirconio, silicio y alúmina, en un tubo sellado para obtener zirconopirofilita”. (Wright y Sommerdijk, 2001)

Mientras tanto, ocurrieron mejores desarrollos, en los cuales se fundaron las bases del proceso de sol-gel. Las propiedades físicas de los coloides estuvieron bajo un intenso estudio por investigadores tales como: Becquerel, Faraday, Tyndall, Graham y Schulze; y en 1846 Ebelmen preparó los primeros alcóxidos mediante la reacción entre tetracloruro de silicio y alcohol, observando el producto gelado sobre una exposición prolongada a atmósferas con humedad relativa.

En 1876, Troost y Hautefeuille hicieron derivados hidrolizados de silicio y alcóxidos. En 1884 Grimaux hidrolizó tetrametoxisilano para preparar soles de ácido silícico e hizo coloides de óxido de hierro a partir de alcóxidos de hierro.

Sin embargo, para los siguientes 50 años, estos desarrollos tuvieron poco impacto científico para el desarrollo del campo de los materiales de sol-gel.

En 1930, Geffcen y Berger de la compañía Shott, establecieron la forma de lograr un proceso de sol-gel para realizar capas de óxido sobre vidrios industriales utilizando combinaciones de precursores. Después D. Roy y R. Roy propusieron un método de preparación para fundidos más homogéneos y vidrios que usan un proceso de sol-gel.

En la década de los sesenta, H. Schroeder depositó recubrimientos transparentes sobre superficies de vidrios con el fin de corregir el índice de refracción utilizando butóxido de titanio. Al mismo tiempo, Dislich sintetizó vidrios de borosilicato por medio de baños de calentamiento de polvos de óxido obtenidos por medio de un proceso sol-gel a baja temperatura. Los resultados obtenidos motivaron investigaciones sistemáticas realizadas por varios equipos de trabajo y contribuyeron al desarrollo y a la popularización de la tecnología de sol-gel dentro de un corto periodo de tiempo.

De acuerdo con Dislich, el número de publicaciones de los ochenta del siglo XX, muestra un crecimiento exponencial sustentable. La primera conferencia

internacional sobre vidrios y vidrios cerámicos obtenidos de geles se realizó en Padova, Italia (1981).

Este significativo evento marca el desarrollo actual de la ciencia del sol-gel. Las últimas dos conferencias se llevaron a cabo en Australia (2003) y en Estados Unidos de América (2005). “Las publicaciones oportunas de las conferencias internacionales de materiales son la principal fuente de nueva tecnología y el conocimiento básico y un estímulo para extender los estudios en varias direcciones”. (Dimitirev, et al., 2008).

C. Jeffrey Brinker es ampliamente reconocido por ser pionero en la química sol-gel. Sus esfuerzos iniciales fueron dirigidos al procesamiento de vidrios refractarios como el cuarzo a bajas temperaturas. Posteriormente, fijó su atención en la preparación de materiales porosos útiles para un amplio rango de aplicaciones incluyendo recubrimientos antirreflejantes, sensores, membranas, adsorbentes y aislantes térmicos y acústicos. Su trabajo más importante es la publicación del libro Sol-Gel Science en 1990, el cual permanece como la más alta referencia citada en este campo. Otro pionero en el campo de la química suave es Jacques Livage con los trabajos de biomineralización para obtener materiales de vidrio bajo condiciones particularmente suaves. El grupo de trabajo de Clément Sánchez realiza síntesis de nanopartículas de óxidos metálicos elaborados por medio de un cuidadoso control de la interfase sólido-líquido.

I. 3.2 Tecnología de sol-gel en México

En México, uno de los pioneros en este campo fue el Dr. Antonio Campero Celis, quien formó un grupo de investigación en la ciencia sol-gel, en los años ochenta. El Dr. Campero Celis nos cuenta: “convertí en 1983, mi viejo laboratorio de Química Inorgánica, en el primer laboratorio interesado específicamente en sol-gel en Latinoamérica, tal vez acompañado de uno en Brasil”.

En paralelo, otros investigadores consolidados como el Dr. Ricardo Gómez y Dr. Pedro Bosch, aplicaron tanto en la química, como en los campos de biología y física, el proceso sol-gel. De esta manera se fueron integrando y extendiendo los primeros grupos de jóvenes investigadores entre los que destacan la Dra. Tessy López, Dr. Bokhimi, Dr. Víctor M. Castaño, Dr. Jesús González, Dr. Fernando Rojas González, Dr. Rubén Arroyo, el Dr. Rogelio Rodríguez, el Dr. Juan Méndez Vivar, la Dra. Leticia Lomas, Dr. Novaro, Dr. Juan Francisco Pérez Robles, entre otros.

I. 3.3 Depósitos por Procesos Físicos (PVD)

Se denomina Depósito Físico de Vapor (PVD), al recubrimiento de superficies sólidas con “capas” (películas) delgadas mediante la condensación de un cierto

vapor proveniente de un sólido; en estos procesos sólo están involucrados procesos físicos.

Existe el caso en el que el proceso de crecimiento de la película delgada involucra reacciones químicas, pero se trata de un caso particular de evaporación reactiva. En cualquier método físico, el crecimiento de una película delgada se lleva a cabo en tres etapas (Colorado, 2006):

1. Generación del vapor
2. Transporte de las partículas en su fase de vapor, desde el material sólido hasta el sustrato.
3. Y finalmente, la condensación del vapor para producir la estructura sólida sobre la superficie del sustrato.

I. **3.4 Sputtering**

Grove (1852) (Kiyotaka et.al., 1992) observó por primera vez el fenómeno de Sputtering en un tubo de descarga gaseosa con corriente directa, encontró que la superficie del cátodo se erosionó por el impacto de los iones energéticos durante el proceso y consecuentemente, el material del cátodo se depositó sobre las paredes del tubo. En ese instante, se consideró al Sputtering como un fenómeno indeseado, puesto que el cátodo y la rejilla que existían dentro del tubo; se destruían continuamente. Sin embargo, años después, dicho fenómeno se utilizó para producir películas metálicas, como capa reflejante en espejos y en años siguientes se usó de igual forma para otras aplicaciones.

Con la ayuda de la tecnología del vacío, el sputtering se ha convertido en una técnica moderna, que tiene un sinnúmero de aplicaciones, entre las que destacan; la limpieza y grabado de superficies, así como el depósito de películas delgadas, entre las más importantes.

En el proceso de Sputtering, un material sólido se erosiona por el impacto de distintas partículas energéticas, como: iones, átomos neutros, electrones; el material que se erosiona en forma de vapor, se deposita sobre una superficie, denominada sustrato, y forma capas. En la técnica conocida como erosión por magnetrón, el material base del depósito, es decir, el blanco, es el electrodo (cátodo) al que se le aplica una diferencia de potencial negativa.

Cuando se quiere producir un depósito, la cámara de crecimiento debe mantenerse a una presión baja del gas formador del plasma, que para este trabajo en particular es Argón (Ar). El gas de trabajo se ioniza por la presencia de un campo eléctrico intenso, esta ionización genera un plasma autosostenido, que es confinado por un campo magnético en la región cercana al cátodo; como se ha mencionado ya, los electrones secundarios en la región cercana al material sólido tienen un camino libre medio corto y, en consecuencia, la ionización se incrementa y además se hace continua. Los iones positivos de Argón (Ar⁺) se aceleran hacia el cátodo, debido al potencial negativo de éste, y lo golpean. La energía de los iones positivos es de varios cientos de electronvolts (eV), es por esto que la colisión con el blanco

erosiona el material superficial, que sale en forma de vapor y posteriormente se adhiere a la superficie del sustrato, mediante distintos fenómenos superficiales, principalmente por adsorción y/o interdifusión de uno u otro material.

I. 3.5 Crecimiento de Películas Delgadas y Recubrimientos en Vacío

En el capítulo anterior se mencionó que existen diferentes técnicas de crecimiento de películas delgadas, de las que hemos destacado el fenómeno del Sputtering, a partir de observación directa del proceso se ha encontrado la existencia de diferentes etapas perfectamente definidas, dentro de las cuales se involucran distintos fenómenos físicos como los fenómenos de transporte y los fenómenos superficiales, entre los más importantes.

En general, el proceso de depósito de una película delgada que se produce por un método físico tiene tres fases:

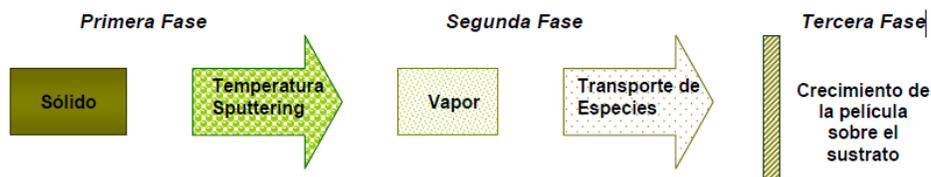


Figura I. 4 Diagrama del proceso de depósito de películas delgadas y recubrimientos

En la primera fase, se aumenta la temperatura del sólido hasta la temperatura de fusión y desde luego la de evaporación, que depende de la presión total del medio. Este proceso se puede llevar a cabo por distintos métodos como la evaporación térmica al vacío, cañón de electrones y el Sputtering, que como hemos mencionado ya, consiste en la eyección de átomos, moléculas o cúmulos debido a la interacción de partículas de alta energía que inciden sobre la superficie del material sólido. (R.F. Bunshah, 1994)

En la segunda fase, una vez que se ha generado el vapor a partir del sólido, las partículas poseen cierta energía cinética con la que se desplazan a través del medio en el que se encuentran inmersas, por supuesto, si este medio tiene una baja concentración de moléculas, el camino libre medio de las partículas es mucho mayor a sus dimensiones lo que asegura que un número mayor de partículas alcance el sustrato. Las especies en fase de vapor que alcanzan el sustrato, se adsorben y se difunden superficialmente para finalmente iniciar el proceso de recubrimiento, en este punto la formación de la película se resume en cinco etapas (Brian & Glow, 1980):

- I. Transporte. Los átomos eyectados del sólido viajan para aproximarse al sustrato, donde caen para su posterior nucleación y crecimiento de la película delgada. La mayoría de las propiedades de las películas delgadas se define en esta etapa, debido a que existe una disipación de energía de los átomos provocada por la movilidad de éstos sobre el sustrato, a través del fenómeno de difusión superficial. Esta disipación de energía puede aumentar la migración de los átomos adsorbidos.
- II. Nucleación. Consiste en la formación de pequeños núcleos de materia a partir de dobletes y tripletes que resultan de la movilidad de las partículas que se adsorben y se desplazan sobre la superficie del sustrato debido a su energía térmica y a su energía de amarre a la temperatura del sustrato.
- III. Coalescencia. En esta etapa, los pequeños núcleos se unen para formar cúmulos de mayores dimensiones y que se denominan pequeñas islas. Las islas son estructuras cuasi estables, cada una contiene decenas o cientos de átomos cuya densidad típica es de 10^{10} átomos/cm². La formación de nuevos núcleos y nuevas islas continúa con la incidencia de nuevas partículas.
- IV. En una segunda etapa de coalescencia, las pequeñas islas se unen para formar grandes islas que sólo están separadas por pequeños canales que se van llenando con las partículas que continúan incidiendo. En algunas observaciones "in situ" se ha notado que dichas islas en la fase de coalescencia se comportan de manera semejante a los líquidos, presentando además una cierta reorientación cristalográfica, que depende principalmente de la temperatura del sustrato. Dicho fenómeno es más probable cuando la temperatura del sustrato es alta.
- V. En la última etapa, la superficie del sustrato se cubre por completo y las partículas incidentes aumentan el espesor de la película. Es importante destacar que la calidad de la película producida depende entre otras cosas de las condiciones de temperatura, limpieza y estructura del sustrato.

Las etapas de formación de películas mencionadas no son específicas del método del Sputtering, es decir, es general para el crecimiento de películas delgadas.

CAPITULO II.

METODOLOGÍA

II.1 Método de evaporación térmica en vacío

En este capítulo se revisan la instrumentación y los métodos utilizados para la construcción de los conductores eléctricos, para ser usados como un ánodo y cátodo en la medición de resistencias en nuestro sensor, se incluye la descripción del sistema de crecimiento de películas delgadas ubicado en el Laboratorio de Alto Vacío y Películas Delgadas del Laboratorio del Instituto Politécnico De Chiapas. Hemos dicho ya que, para crecer las películas delgadas, es necesario tener un sustrato sólido que soporte las distintas capas de depósito, en este trabajo se utilizaron sustratos de vidrio porta objetos de dimensiones 75 mm x 25 mm y 1 mm de espesor.

El proceso de construcción de los conductores inicia con la limpieza de los sustratos de vidrio, para eliminar al máximo la contaminación superficial. La limpieza es fundamental en la caracterización y calidad de las películas delgadas, puesto que ofrece seguridad sobre la pureza del depósito y además hay una mejor adherencia de la película con el sustrato.

II.1.2 Descripción del sistema de crecimiento

El sistema de crecimiento está integrado por una cámara de alto vacío con su respectivo sistema de bombeo. En la siguiente figura se muestra el arreglo del sistema de crecimiento con todos sus componentes.

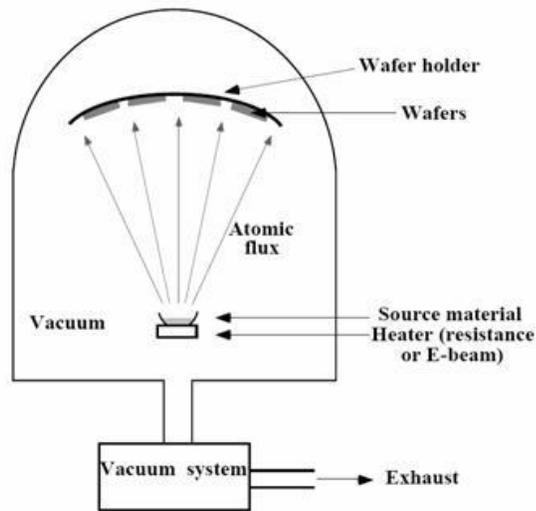


Figura II. 1 sistema de evaporación térmica en vacío

II. 1.3 Cámara de Proceso

La cámara de proceso utilizada para crecer las películas delgadas, es de geometría Cilíndrica o campana y está construida en Acero Inoxidable y la tapa es de cuarzo reforzado, el cual posee las propiedades químicas y físicas que permiten su uso para el alto y ultra alto vacío. La cámara de proceso cuenta con diferentes puertos, dos para los dos sensores de bajo y alto vacío, 1 puerto para cada bomba de alto y bajo vacío; además de los dos puertos de ensamble de las dos fuentes de alto voltaje, cuyo cuerpo se encuentra dentro de la cámara de proceso. La cámara tiene como dimensiones, 38.5 cm de altura y 43.18 cm de diámetro interno

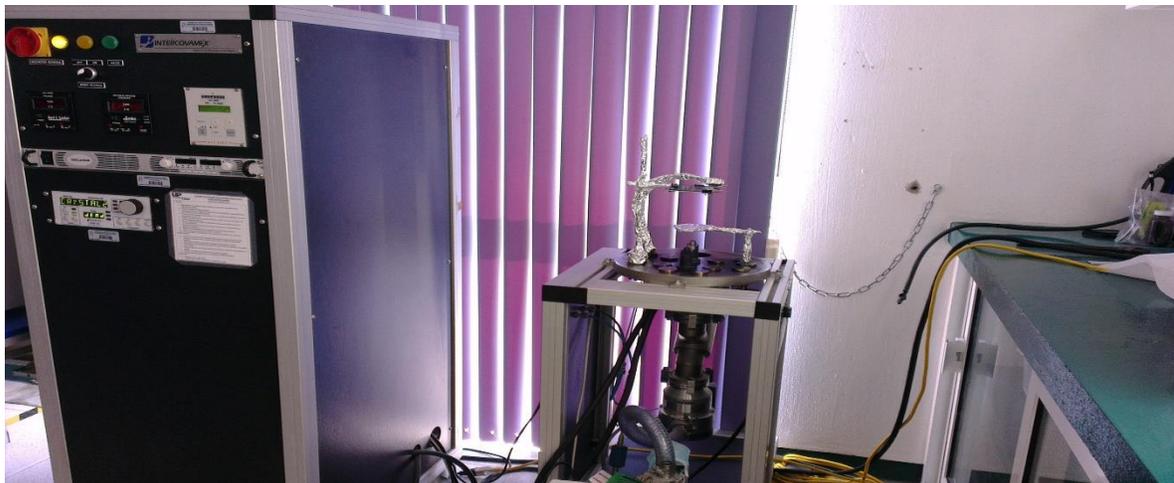


Figura II. 2 Sistema de alto vacío y evaporación térmica

II. 1.3.1 Tapa superior del sistema de crecimiento

El material para la brida circular ciega (tapa) de la cámara de crecimiento, tiene que ser resistente al esfuerzo mecánico que se genera cuando baja la presión dentro de la cámara de proceso. La tapa de la cámara de crecimiento es de cuarzo con una carcasa metálica, tiene un diámetro de 43.18 cm con un espesor de 1.3 cm (figura 8), antes de ser usada es revestida por papel aluminio al interior para que el vapor de metal no se adhiera a la campana de cuarzo y para lograr un sellado de la cámara esta debe ser recubierta la parte inferior de la campana con vaselina (Figura 9, No usas esta nomenclatura en el documento, tienes esta [Figura II. 3](#)) para evitar cualquier fuga.



Figura II. 4 Tapa superior del sistema

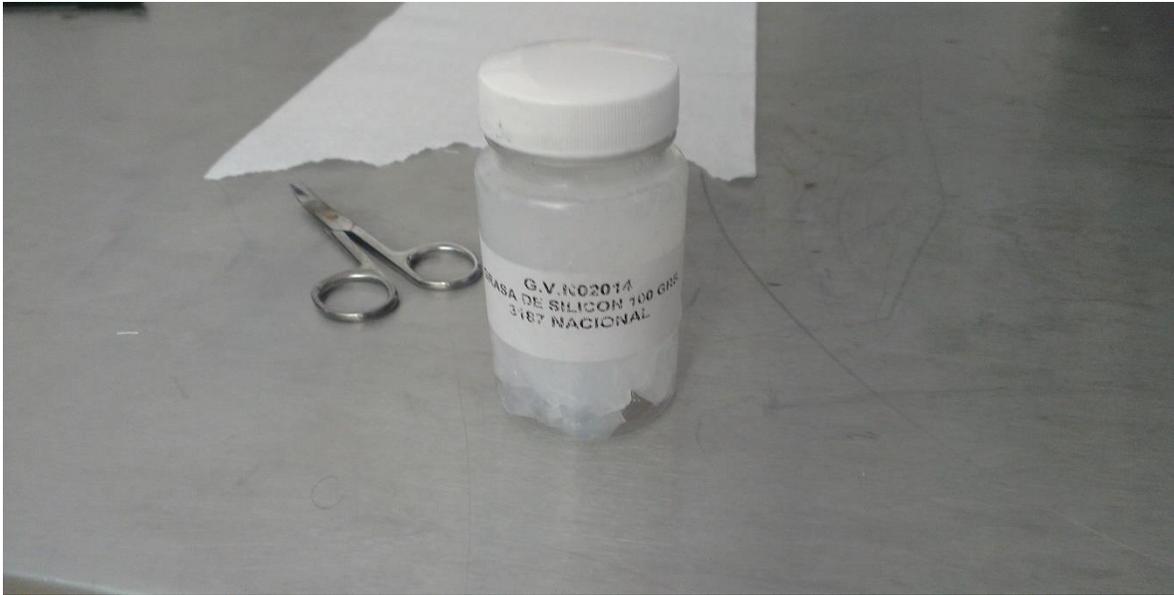


Figura II. 5 Vaselina Industrial

II. 1.4 Bomba Mecánica de Paletas Deslizantes

La bomba mecánica de paletas deslizantes, también llamada bomba de bajo vacío, baja la presión en la cámara de proceso, que inicialmente es la presión atmosférica (580 Torr), hasta una presión de 10^{-3} Torr. Es importante que la bomba de bajo vacío alcance por completo este valor de presión, puesto que es necesario para que entre en funcionamiento la bomba de alto vacío (bomba turbomolecular), pues esta ópera justo a partir de este intervalo de presión.

La bomba remueve los gases que se encuentran dentro de la cámara, a través del principio de expansión-compresión con una presión mayor que la atmósfera, permitiendo expulsarlos hacia fuera. La bomba de bajo vacío que está acoplada al sistema de crecimiento tiene un desplazamiento de 10 m³/h.

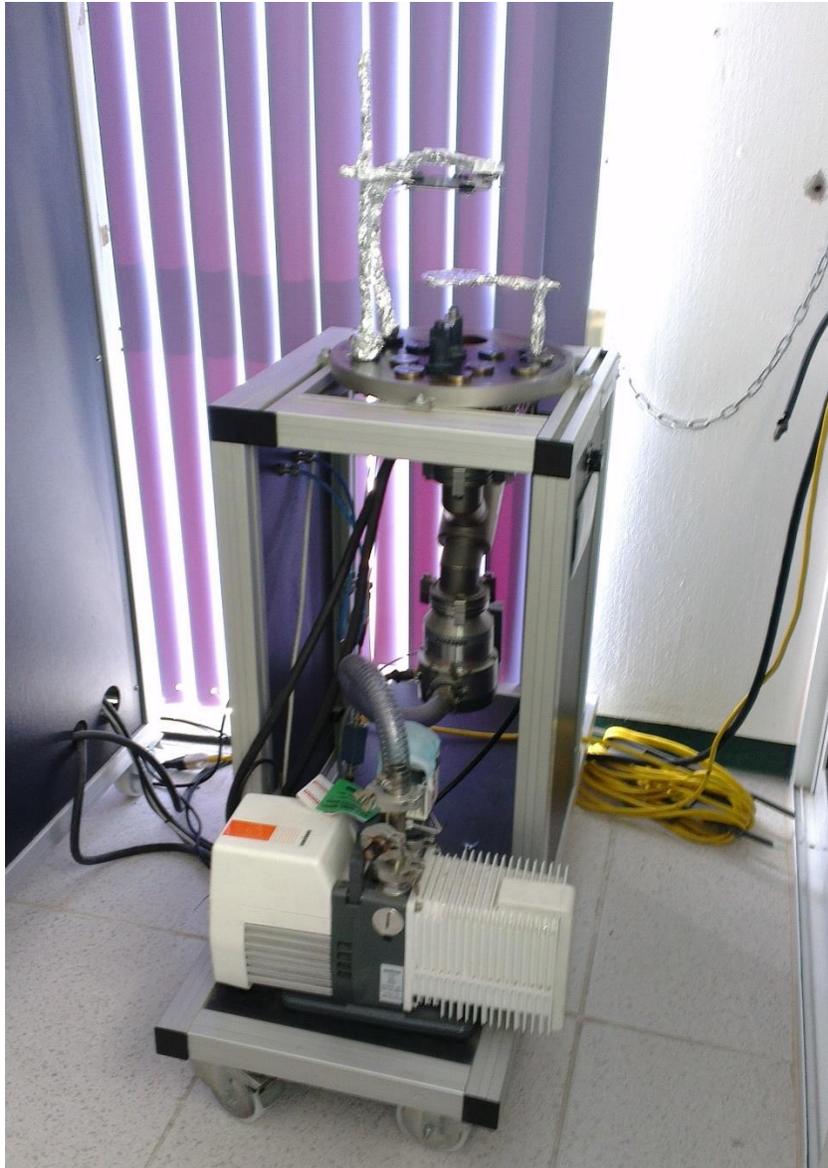


Figura II. 6 Sistema de bombas de alto vacío

II. 1.5 Válvula de bajo vacío

Una válvula en la línea de vacío tiene como objetivo aislar o interconectar secciones para mantener la hermeticidad del sistema. Generalmente, se usan válvulas manuales que tienen un arosello como elemento de cierre; la atmósfera se aísla mediante un fuelle o manguera flexible de acero inoxidable. La válvula de la línea de bajo vacío es lineal y tiene como función principal aislar la cámara de crecimiento de la bomba de bajo vacío, la válvula debe mantenerse abierta sólo hasta que la presión atmosférica baje a 10^{-3} Torr y debe cerrarse antes de que la bomba turbo molecular entre en operación, esto con la finalidad de evitar la contaminación de la cámara con vapores de aceite de la bomba.

II. 1.6 Válvula de alto vacío

Esta válvula tiene por objeto aislar la región de alto vacío en la brida de succión de la bomba turbo molecular de la cámara de proceso. La válvula es de acero inoxidable y sus bridas de acoplamiento son tipo ISO 100 K con arosellos de vitón, que tienen una baja presión de vapor y cada uno con sus centradores de acero inoxidable

II. 1.7 Bomba Turbo Molecular

La bomba de alto vacío del sistema del crecimiento es una bomba turbo molecular de 150 lt/seg nominal, está instalada en la cámara a través de una válvula de alto vacío y tiene como función seguir bajando y manteniendo el alto vacío dentro de la cámara a partir de 10^{-3} Torr, y hasta aproximadamente 10^{-6} Torr. Este tipo de bombas mantienen su velocidad de bombeo constante en el intervalo que va de 10^{-3} Torr hasta 10^{-9} Torr; esta característica permite que la bomba sea eficiente en todo el intervalo de operación. Las bombas turbo moleculares funcionan en base al principio de arrastre molecular, provocado por una serie de “cuchillas” ordenadas de manera semejante a la turbina de un avión y que se localizan en el interior del cuerpo de la bomba. La posición de estas cuchillas provoca la expulsión de las partículas provenientes de la cámara de proceso hacia la parte baja, en donde se localiza la salida de la bomba. Después de la válvula de alto vacío, la bomba reduce su velocidad de bombeo nominal a una velocidad efectiva de 80 lt/seg.

II. 1.8 Bomba de apoyo de la bomba turbo molecular

La bomba de apoyo para la bomba turbo molecular, es una bomba de paletas deslizantes que se coloca a la salida de la bomba de alto vacío y permite expulsar los gases provenientes de la cámara hacia la atmósfera.

II. 1.9 Sensor de bajo vacío

Su función primordial es determinar la presión en el intervalo que va de la presión atmosférica, hasta que la bomba turbo molecular entra en operación (a partir de 10^{-3} Torr). Es un medidor indirecto y de presión parcial, el principio físico asociado a él es la conductividad térmica de los gases; tiene como elemento sensible un filamento que se mantiene a una cierta temperatura que va cambiando de acuerdo al aumento o disminución de la densidad de los gases que se encuentran presentes en la cámara de proceso. El filamento se complementa con un par termoeléctrico que genera una diferencia de potencial proveniente de la temperatura de la unión, el cambio de temperatura por cambio de presión se traduce en un cambio de voltaje en el par al que se le asocia una presión. Uno de los problemas asociados a estos instrumentos es que los gases residuales de la cámara de crecimiento tienen cierta conductividad térmica asociada a su naturaleza; por lo anterior, la presión que

registra el medidor no es la real, sino la presión parcial del gas cuya conductividad térmica sea la más alta.



1Figura II. 7 Lectores de Vacío

II. 1.10 Sensor de alto vacío

El sensor de alto vacío es un cátodo frío tipo Pening. Un sensor de cátodo frío se compone de un ánodo central y un cátodo cilíndrico, un imán permanente produce un campo magnético perpendicular al campo eléctrico producido entre los electrodos (cuando se aplica un voltaje de por lo menos -2000 VCD). Las partículas del gas residual de la cámara se ionizan y generan una corriente que se amplifica electrónicamente, la corriente iónica generada es proporcional a la medida de la presión de la cámara. El medidor deja de funcionar cuando la presión es alta, cercana a 10-2 Torr, tiene la ventaja de soportar descargas y es de fácil mantenimiento y limpieza, por supuesto, el sensor está instalado dentro de la cámara de proceso y se enciende cuando la presión es menor a 10-3 Torr.

II. 1.11 Porta-sustratos

Para poder soportar los sustratos de vidrio frente a la resistencia de tungsteno, se usó una placa de acero inoxidable de 5 pulg. x 5 pulg. la cual se fijó a una varilla (también de INOX) que se localiza en el centro de la cámara de crecimiento. La varilla central se puede mover desde el exterior de la cámara sin romper el vacío, esto es a través de un pasamuros de movimiento y para este caso el movimiento de la varilla se realizó manualmente. La idea de movimiento del sustrato es con la finalidad de que cuando se inicia la descarga, la parte trasera del porta-sustrato (que no sostiene al sustrato), reciba las impurezas de la primera erosión del blanco. Una

vez que se limpia la superficie del blanco, se gira la porta sustrato para iniciar el crecimiento de la película delgada y poder así asegurar la pureza del depósito.



Figura II. 8 Porta sustrato

II. 1.12 Parámetros de Crecimiento

Los parámetros que se tomaron en cuenta para el crecimiento de las capas (Cu) por el método de evaporación térmica al vacío fueron:

- □ La presión base de la cámara de proceso: 1.9×10^{-2} Torr
- □ La presión de trabajo de la cámara de proceso: 1.9×10^{-5} Torr
- □ La potencia suministrada al sistema: 214 W, para el cobre
- □ El material del blanco: Aluminio (Al) y porta objetos de cristal.
- □ La distancia entre la resistencia y el sustrato: 28 cm.
- □ El tiempo de depósito: variante para cada muestra.
- □ La limpieza del sustrato.

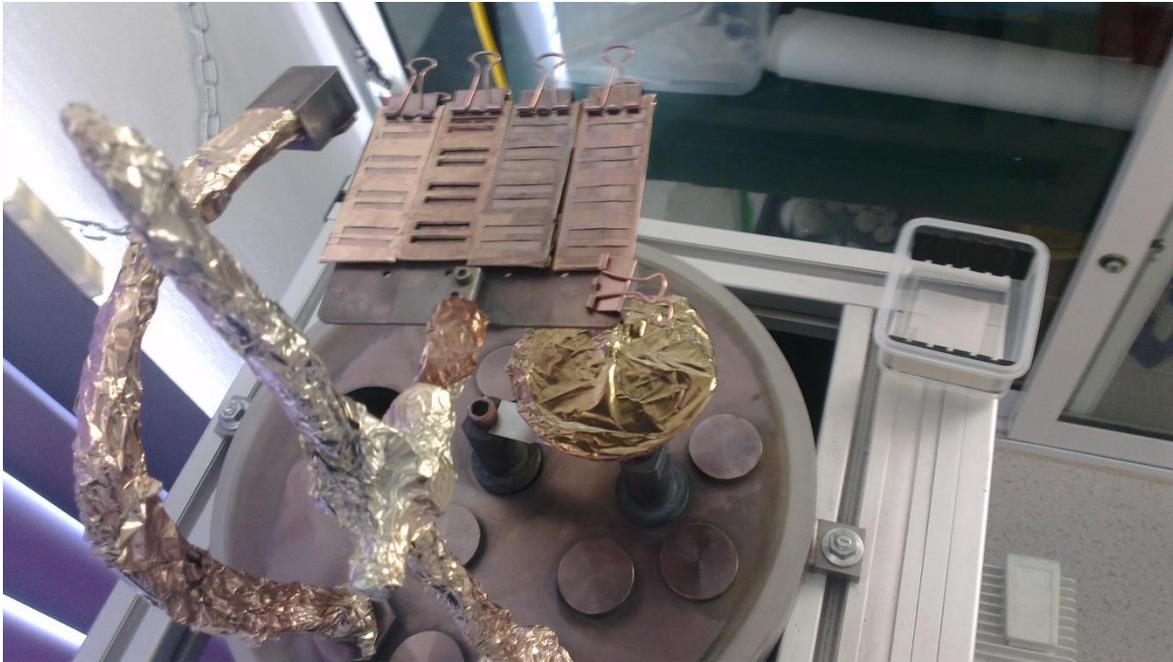


Figura II. 9 Sustratos con depósito de cobre

II. 1.13 Preparación de las muestras

Se prepararon aproximadamente 6 muestras de las cuales sólo se escogieron las más representativas, es decir, las de mejor calidad (a simple vista) para evaluarlas con el método sol-gel.

Todas las muestras se construyeron sobre sustratos de vidrio comercial de 25 cm² de área total y a cada sustrato se le coloca una mascarilla con rendijas, con lo que el área efectiva de depósito es de aproximadamente 10 cm². A continuación se enlistan los pasos seguidos para el proceso de construcción de dichas muestras:

- I. El primer paso del proceso de producción de las capas es la selección y la limpieza del sustrato, como se mencionó ya, en este caso se eligió porta objetos de 1 mm de espesor. El proceso de limpieza de los sustratos inicia con el lavado de los vidrios con jabón suave, esponja y agua corriente, posteriormente los vidrios se rocían con un poco de alcohol isopropílico para eliminar el exceso de agua. Posteriormente, con el fin de eliminar de la superficie del vidrio cualquier residuo de polvo, grasa, impurezas del mismo vidrio, etc., los vidrios se sumergen en mezcla crómica por espacio de 24 horas. La mezcla crómica, es uno de los métodos más utilizados para asegurar la limpieza profunda de las superficies. El poder de limpieza de la mezcla crómica, se basa en las características altamente oxidantes que posee y que son el resultado de la adición de sales crómicas (Dicromato de potasio) a una concentración de ácido sulfúrico. Después de este paso, los vidrios se sacan de la mezcla crómica y se limpian con agua destilada en exceso hasta eliminar cualquier residuo de la mezcla, nuevamente se rocían

con alcohol isopropílico para acelerar el secado y finalmente se dejan secar al en desecadora.

- II. Una vez que el sustrato está seco, se coloca una mascarilla de aluminio para tener los electrodos para las mediciones.



Figura II. 10 Sustratos con mascarillas de aluminio

- III. Se abren las válvulas traseras para que no tenga vacío la campana para evitar accidente de una implosión.
- IV. El sustrato se coloca en la porta sustrato para posteriormente, introducirse en la
- V. cámara de proceso. Se coloca la barra de tungsteno, y se deja la barra de cobre. Se cierra la cámara y todas sus válvulas de venteo, se le pone vaselina a la campana antes de cerrarla para evitar alguna fuga.
- VI. Se procede al bombeo de la cámara hasta llegar a la presión base del sistema de crecimiento: 9×10^{-2} Torr. Es importante mencionar que el tiempo de bombeo con y sin sustrato sólo difiere unos cuantos minutos, lo que significa que los sustratos tienen muy poca agua adsorbida y la presión de vapor generada por el agua es despreciable.
- VII. Se fija la presión de trabajo en el controlador automático y se cierra la válvula para alcanzar una presión de promedio de 1×10^{-2} Torr.

- VIII. Después de alcanzar la presión inicial se pone en funcionamiento la segunda bomba turbo molecular hasta alcanzar una presión de 1×10^{-5} .
- IX. Se aplica la diferencia de potencial a través de una fuente de corriente alterna de radiofrecuencia (13.56 MHz). La potencia aplicada depende del tipo de blanco que se utilice, al llegar a la presión deseada se apaga el sensor de alto rango.
- X. Con ayuda de un sensor se espera hasta alcanzar un espesor de 115 nanómetros, alcanzado el espesor deseado se apaga la fuente, apagar el motor turbo molecular.
- XI. Apagado el motor se procede a abrir las válvulas para dejar salir cualquier gas que se generase en el proceso, esperar hasta que no queden gases o vacío, extraer los sustratos y resguardar en un medio seco.

II. 2 Bobina de Tesla como medio de generación de ozono

Para la elaboración de este experimento es necesario una fuente de ozono para la exposición del prototipo de sensor, para así poder hacer mediciones, la bobina de Tesla es nuestra fuente de ozono en este caso, la bobina fue construida con ayuda de diversos materiales fáciles de conseguir como veremos en la siguiente figura:

Tabla II. 1 Materiales para Bobina de Tesla

Material		
Clave	Cantidad	Artículo
	1	Botella de plástico, de alcohol o de agua destilada de un litro (8 cm de diám. x 20 cm de alto)
	100 mts.	Alambre de cobre esmaltado calibre 22
	3 mts.	Alambre de cobre forrado de plástico calibre 8
	2 mts.	Cable dúplex calibre 16
	1	Transformador pri 125V, sec 1500 Volts 50 Volts-Ampere
		(VA) 30mA (tipo Tesla)
	2	Clavijas
	1	Foco de 100w a 125 volts
	1	Receptáculo para el foco
	1	Interruptor de un polo, un tiro para 125 volts
A	1	Rectángulo de triplay de 19mm por 20 cm por 44 cm.
B	1	Rectángulo de triplay de 19mm por 7 cm por 15 cm.
C	1	Rueda de triplay de 19mm y 15cm de diámetro
	2	Tornillos de cabeza de coche de 1/4" de diámetro por 2" de largo
	4	Tuercas para tornillos de 1/4"
	2	Rondanas para tornillos de 1/4"
	8	Pijas fijadoras de 1/8 x 1/2"
	2	Pijas fijadoras de 5/32 x 3/4"
	4	Pijas fijadoras de 1/8 x 1"
	4	Pijas fijadoras de 3/16 x 3/4"
	1	Pija fijadora de 3/16 x 2"
	4	Tornillo de 10/32 x 1/2"
	4	Tornillos de 3/16 x 1 y 1/2"
	6	Hojas de acetato para copias tamaño carta
	2	Vidrios de 10x10cm y 3mm de espesor
	1 mt.	Papel aluminio
D	4	Tiras de madera de 2 x 1cm x 15 cm de largo
E	1	Ángulo de aluminio de 2.5 x 2.5 x 12.5 cm de largo calibre 22
F	1	Ángulo de aluminio de 4 x 3 x 8 cm de largo calibre 18 ó 20
G	1	Lámina de aluminio de 7 x 8 cm calibre 26

II. 2.1 Elaboración de bases

Para la elaboración de la bobina se realizó los siguientes pasos: A 0.5 cm de la parte superior de la botella de plástico, se hacen 3 orificios pequeños separados 1 cm; en el otro extremo se hacen solamente 2 orificios. En uno de los extremos se mete el alambre de cobre calibre 22 y se enrolla de forma continua hasta llegar al otro extremo, dejando 20 cm de alambre al inicio y al final y se hace una pequeña bobina en el extremo superior (electrodo).

Con el alambre de cobre calibre 8, se hace una bobina (L1) de 12 cm de diámetro con 6 espiras, dejando 8 cm al inicio y 20 al final.

A (C) se fija la botella con una pija larga (3/16 x 2") que pasa hasta (B), esto se puede hacer incrustando la pija desde la parte posterior de la base rectangular (A). Sobre la bobina de la botella se coloca la bobina de pocas espiras. Se corta el (F) a la mitad para obtener dos pequeños ángulos de igual medida. Se hace un orificio de 1/4" a 2.5cm de altura en la parte de 4cm de largo de cada ángulo. En cada orificio se coloca un tornillo (cabeza de coche) con una tuerca y se le pone la roldana con la otra tuerca. Los ángulos se fijan a (B), esto se hace colocando 2 pijas de 1/8 x 1/2" en las partes no perforadas de ambos ángulos. Estos se fijan con una separación de 3cm de tal forma que las cabezas de los tornillos se encuentren y estos se ajustan hasta una separación aproximada de menos de 1mm para que se produzca la chispa. Esto tiene la función de un explosor (EX), el cual se fija a (A) con las pijas de 1/8 x 1". No conectar hasta el final.



Figura II. 11 Embobinado

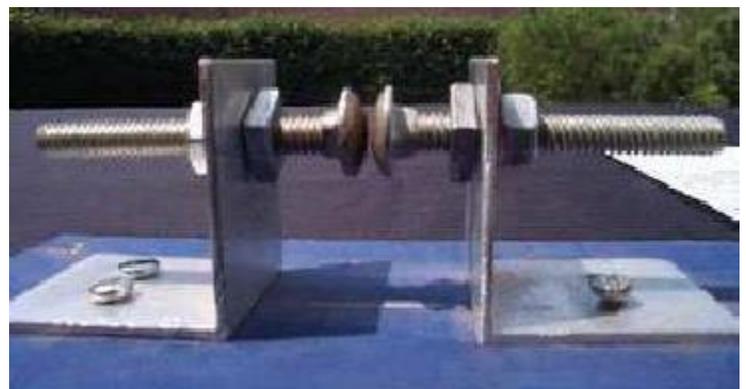


Figura II. 12 Tornillos en posición para descara

II. 2.2. Construcción del capacitor

Se cortan las hojas de acetato en cruz y quedan 4 hojitas iguales de 14 x 10.7 cm. Se cortan 11 rectángulos de papel aluminio de 9 x 15 cm. Se colocan dos rectángulos de acetato y encima de estos un rectángulo de papel aluminio, este último se coloca de manera que sobresalga 4 cm por el lado más corto del acetato.

Enseguida se colocan otras dos hojitas de acetato y encima de este otro papel aluminio de manera que también sobresalga 4cm, pero de lado contrario al anterior papel aluminio. Se coloca nuevamente otras dos hojitas de acetato y encima otro aluminio sobresaliendo 4 cm, pero nuevamente del lado contrario que el papel aluminio anterior. Se repiten los pasos anteriores hasta acabar con las hojitas. A 1.5cm de cada extremo de (D) se les hace un orificio de 3/16". Se colocan dos (D) por encima de todas las capas a 3cm de los extremos de estas y las otras dos por debajo de las capas, de manera que los orificios de (D) coincidan. Se colocan los tornillos de 3/16 x 1 y 1/2" en los orificios y se colocan las tuercas enroscándolas ligeramente.

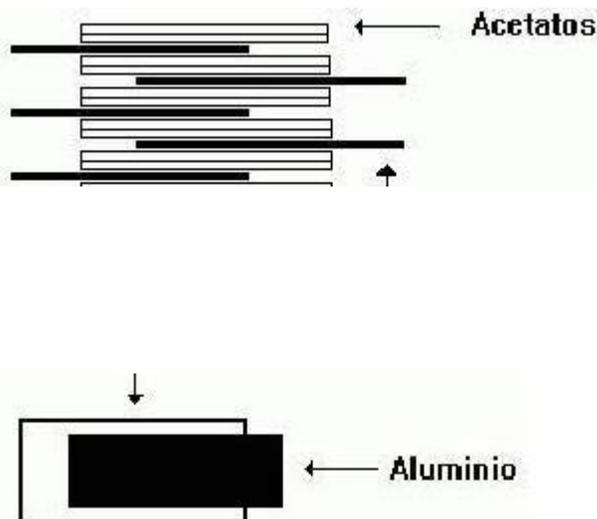


Figura II. 13 Diagrama para capacitor

Se cortan (G) a la mitad y las partes resultantes se doblan a la mitad. Estas servirán como pasador para mantener unidas las placas de papel aluminio de cada extremo. Al (E) se le hacen dos orificios de 3/16" con una separación de 7cm. Se hacen otros dos orificios del lado no perforado para fijarlo a (A) con dos pijas. Se toma el capacitor se quitan dos tuercas de dos de los extremos de (D) y se meten los tornillos en el (E), procurando apretar el capacitor para que no se desbarate. Se enroscan las tuercas fuertemente. El capacitor debe quedar sujeto al ángulo (Ver fotografía).

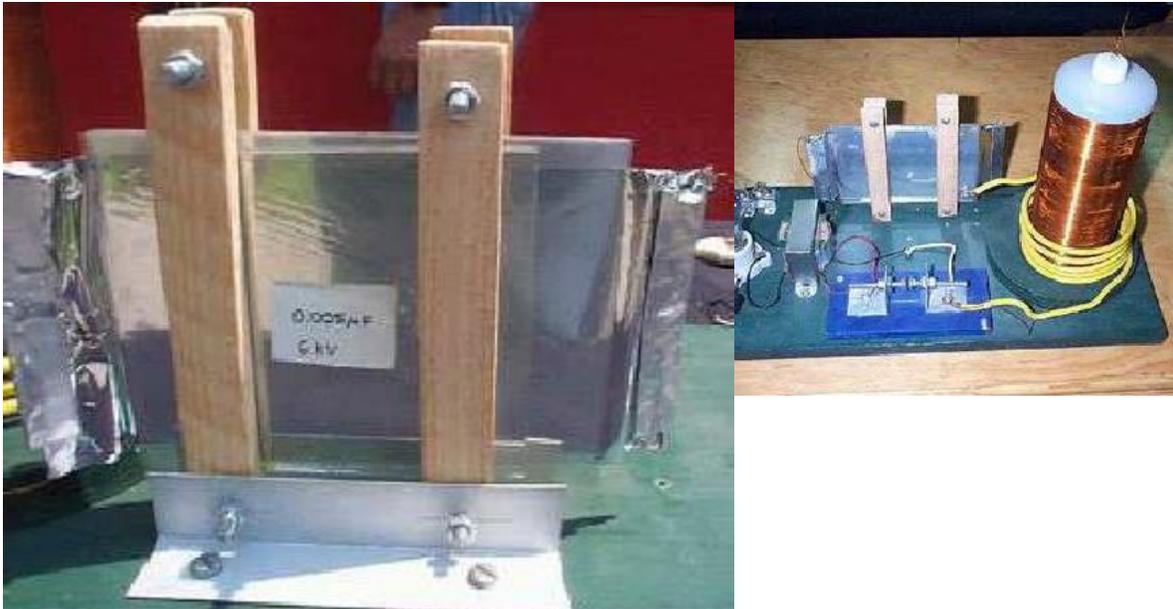


Figura II. 14 Capacitor.

II. 2.3. Ensamble

Se cortan dos pedazos de 20 cm de largo del sobrante de alambre calibre 22; se lijan 4cm de los extremos de cada alambre y se colocan en los extremos del capacitor. Se conecta el capacitor (C1) a una de las puntas de la bobina primaria L1 (de alambre calibre 8) y la otra punta a una de las placas del explosor. Se conecta la punta inferior de la bobina secundaria L2 (la de mayor número de vueltas) a la otra placa del explosor. (Ver diagrama)

Se fija el transformador T1 a (B) y los cables de salida del secundario, cables ROJOS de éste, se conectan a los ángulos que forman parte del explosor.



Figura II. 16 Switch



Figura II. 15 Bobina de Tesla

Se conecta la clavija al cable dúplex y este al receptáculo. Se une uno de los cables del interruptor (1) (INT) con el cable dúplex y el otro cable con una de las entradas del transformador T1 (cables negros), la otra entrada se conecta al receptáculo y se

coloca el foco (F) de 100w (este foco servirá como resistor, como se ve en el diagrama esquemático) Se fija el receptáculo con las pijas.

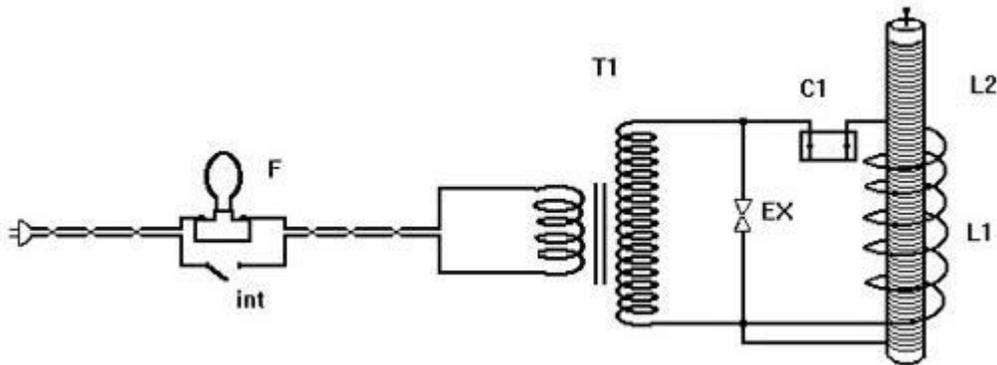


Figura II. 17 Diagrama Eléctrico de una bobina de Tesla

- F: Foco
- Int: Interruptor
- T1: Transformador
- EX: Explosor
- C1: Capacitor
- L1: Bobina primaria
- L2: Bobina Secundaria

El transformador T1 carga al capacitor C1 y se establece una diferencia de potencial muy grande (alta tensión) entre las placas de éste. El voltaje tan elevado es capaz de romper la resistencia del aire haciendo saltar una chispa entre los bornes del explosor EX. La chispa descarga el capacitor C1 a través de la bobina primaria L1 (con pocas espiras) estableciendo una corriente oscilante. Enseguida el capacitor C1 se carga nuevamente repitiendo el proceso. Así resulta un circuito oscilatorio de radiofrecuencia al que llamaremos circuito primario.

La energía producida por el circuito primario es inducida en la bobina secundaria L2 (con mayor número de vueltas) la cual es resonante a la frecuencia natural del primario, esto es, que oscila a la misma frecuencia en que está trabajando el circuito primario. El circuito oscilante secundario se forma con la inductancia de la bobina secundaria L2 y la capacidad distribuida en ella misma. Finalmente, este circuito oscilante secundario produce ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia y voltajes muy elevados. Las ondas que se propagan en el medio hacen posible la ionización de los gases en su cercanía y la realización de diversos experimentos.



Figura II. 19 Bobina de Tela Completa



Figura II. 18 Transformador de Bobina

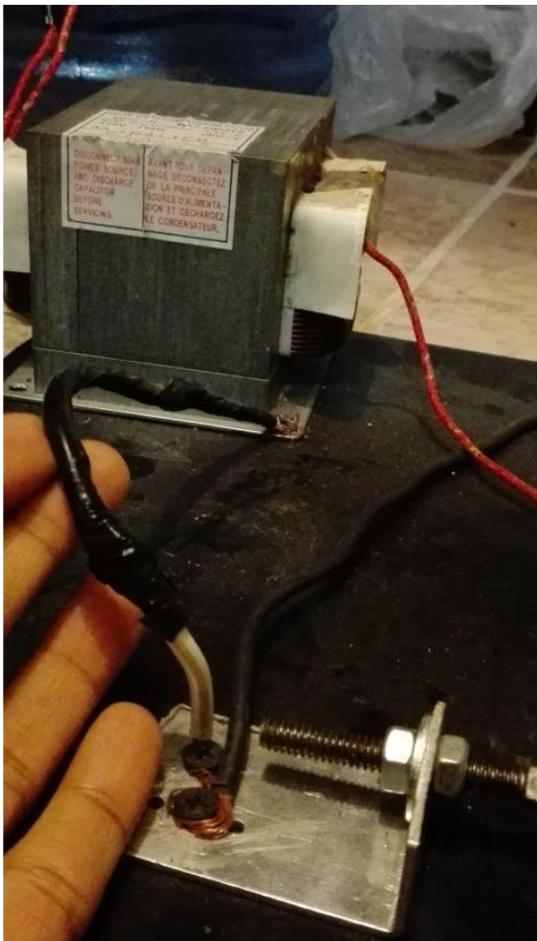


Figura II. 21 Punto de arco de la Bobina

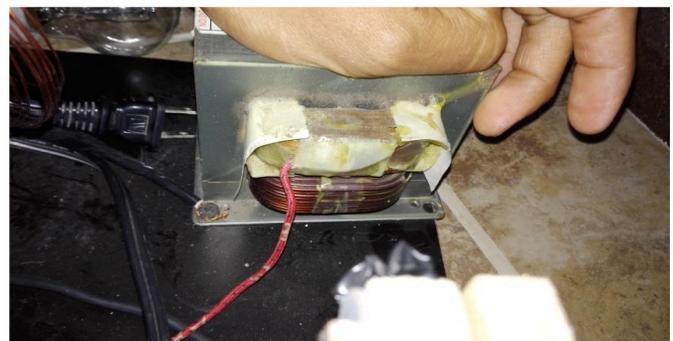


Figura II. 20 Transformador



Figura II. 22 Transformador específico

II. 3 Cámara de exposición

Para la medición de un aire con altas concentraciones de ozono por medio de la bobina de Tesla ionizando el aire que lo pasa fue necesario diseñar una cámara de exposición que tuviera la cualidad de arrojar el gas ionizado de forma más puntual hacia un objetivo el cual sería el sensor por lo tanto se hicieron los siguientes diseños adecuándonos a la forma de nuestra bobina de Tesla.

II. 3.1. Sistema de ventilación

La cámara donde se producirá el ozono gracias al arco eléctrico que se forma entre ambos tornillos de la bobina de Tesla como se ve en la siguiente figura, esto nos proporciona la energía suficiente en el aire para ionizarlo y formar concentraciones altas en ozono, pero es necesario que el aire fluya de forma aislada al ambiente, esto a través de un pequeño sistema de ventilación

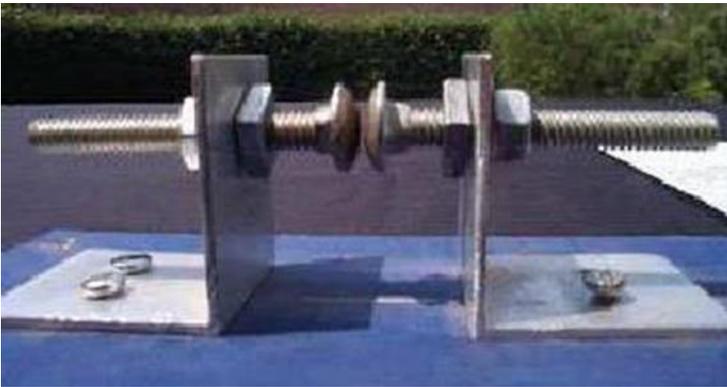


Figura II. 23 Tornillos donde se dará el arco eléctrico



Figura II. 24 Complejo para la medición experimental de ozono

Para su construcción se utilizó un tubo de 10 cm de diámetro en la entrada, y de salida 5 cm, como se muestra en la siguiente figura:

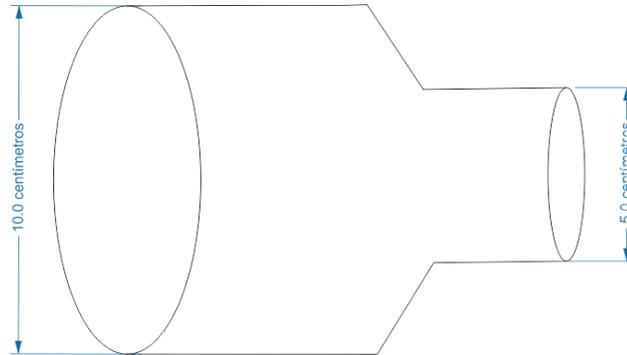


Figura II. 25 Diagrama de tubo de ventilación

La función que tienen los diámetros desiguales del tubo es proporcionar un mayor flujo de salida con una presión mayor. A este tubo se le pegó un ventilador de CPU que funciona a 12 V con 0.18 A, en la siguiente figura se puede observar



Figura II. 26 Ventilador

El ventilador cumple la función de aspirar el aire del entorno donde sea usada la bobina y empujarlo a la parte donde se forma el arco eléctrico para así tener una mayor incidencia de oxígeno de esta forma tenemos mayor probabilidad de aumentar el ozono generado debido al aumento del flujo o caudal del gas atmosférico, el arreglo de estos componentes se puede observar en la siguiente figura donde se observa los componentes del tubo reductor y del ventilador:

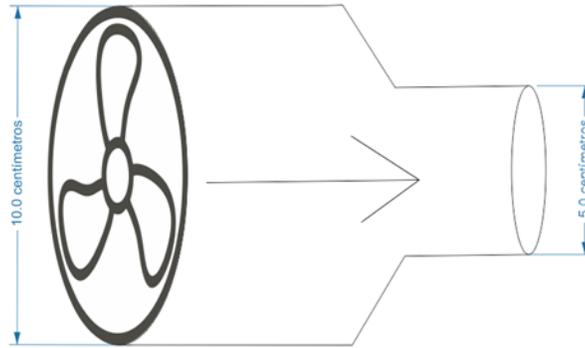


Figura II. 27 Diagrama de tubo de ventilación

El ventilador es alimentado por una fuente de poder con entrada de 125 V de corriente alterna y una salida de 12 V de corriente directa, esto es suficiente para alimentar el ventilador que hará correr el flujo de aire la fuente utilizada se puede ver en la siguiente figura:



Figura II. 28 Fuente de poder

Los cables utilizados son de 12 V, pero fue necesario hacer un puente entre cables para poder hacer funcionar la fuente como se muestra en el siguiente diagrama de configuración de cables:

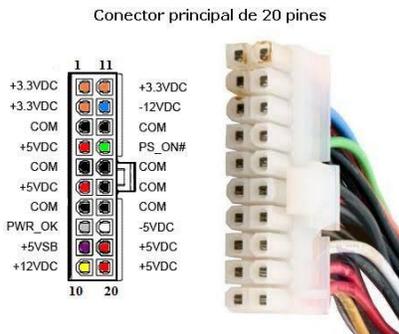


Figura II. 29 Distribución de cables de la fuente de poder

Se utilizó un clip para puentear la salida de la fuente de poder quedando de la siguiente manera:

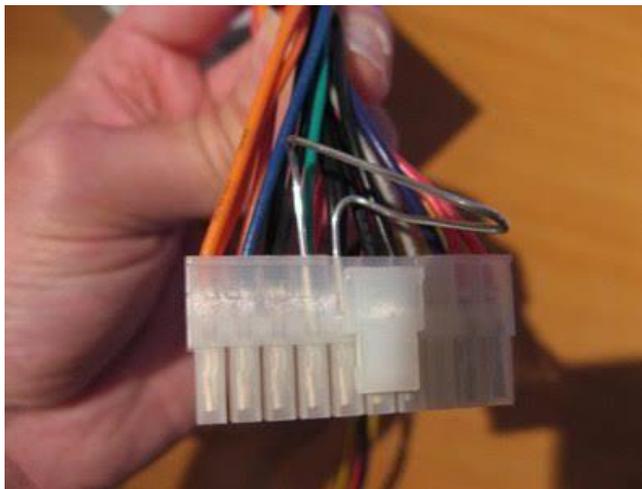


Figura II. 30 Arreglo de puente de fuente de poder

II. 3.2. Cámara de cristal

Para aislar el ozono se construyó una caja de cristal sobre la base de la bobina para poder controlar en mayor medida la generación de ozono y maximizar la concentración de ozono, para su construcción se utilizó un cubo de cristal de 25 cm de largo por 25 cm de ancho por 25 cm de alto con dos orificios perpendiculares en cada costado estos orificios son para el ventilador y la salida del aire rico en ozono, el diámetro de los orificios fue de 10 cm

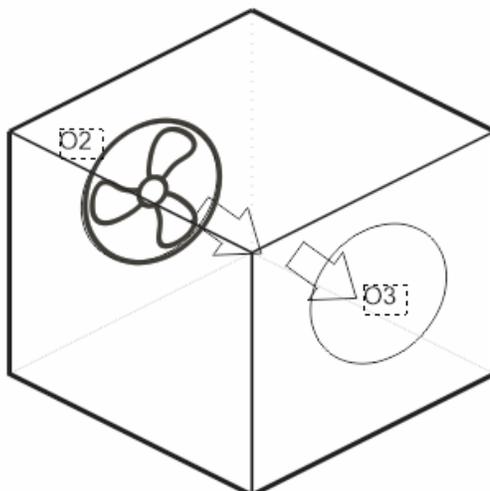


Figura II. 31 Diagrama de flujo de gases en cámara de gas

II. 4 Método Sol-Gel modificado

Para el desarrollo del sensor se utilizó una versión modificada del método Sol-Gel para obtener mejores resultados a continuación se ejecutan las acciones tomadas para la elaboración del experimento, así como los materiales usados en el proceso.

II.4.1 Materiales y Equipo.

Para la obtención de la película en el cual se depositará el SnO₂ (semiconductor) se ejecutará el método Sol-Gel modificando y adaptando al proceso según Stock y Somiensi 1920.

Para la ejecución del método Sol-Gel se desarrolló dentro de un laboratorio preferentemente en ausencia de más personas esto debido a los gases producidos durante la reacción de los reactivos así como las partículas producidas por la aspersión que se utilizó, para la elaboración del Sol-Gel es necesario contar con etanol como medio solvente para el óxido de estaño (SnO₂), el Tetraetil orto silicato mejor conocido como TEOS que nos brindará el soporte para el depósito del semiconductor, agua destilada como catalizador de la reacción y ácido clorhídrico, agitador magnético pequeño para la parrilla de agitación, matraces de 50 ml, baso de precipitado de 15 ml, desecador, porta objetos que funciona como sustrato donde se esparcirá nuestro Sol-Gel con el SnO₂, microscopio binocular biológico para la observación de los poros creados por este método experimental.

II.4.2 Sol-Gel modificado.

Para la preparación de la solución a partir del cual se obtuvo la película, se utilizaron los siguientes reactivos: etanol (C₂H₆O, 99% pureza), Tetraetil orto silicato (TEOS, 98% pureza), agua destilada (99% pureza), Oxido de estaño (SnO₂ y 98% de pureza) y ácido clorhídrico (38% de pureza). Para la síntesis del gel, se preparó una solución, en función de la razón molar de agua a TEOS de 2:1, de etanol a TEOS de 3.8:1, de agua a TEOS de 2:1 y de HCl a TEOS de 3.6×10^{-3} de acuerdo a Ochoa, 2012.

Reactivos	Proporción	Densidad (gr/ml)	Masa molar (gr/mol)	n	Volumen (ml)
TEOS	1	0.934	208.33	0.02242	5
AGUA	2	1	18		0.806988912
ETANOL	3.8	0.789	46.07		4.973817802
HCL	0.0036	0.89	36.46		0.003305934

Tabla II. 2 Cantidades de reactivos utilizados.

La tabla 1 nos muestra las proporciones de cada elemento que componen el Sol-Gel sin embargo para que el experimento funcione es necesario y fundamental el Óxido de estaño ya que este nos brindara el componente que le proporcionará sensibilidad al Sol-Gel ante elementos oxidantes y nuestro dato de salida o de

respuesta será la resistencia que presentará nuestros porta objetos con la mezcla Sol-Gel/SnO₂ ante la exposición al medio. Por ello es necesario que cumpla ciertas características morfológicas y dieléctricas, en este punto cabe mencionar que se realizaron pruebas para determinar la concentración adecuada de SnO₂ en el margen de las características ya mencionadas dando como resultado final del experimento la utilización de una concentración de 0.8% de SnO₂ en función del volumen total de nuestra mezcla (Sol-Gel) obteniendo una película suficientemente adherente para mantenerse en el sustrato y con sensibilidad eléctrica ante presencia de gases oxidantes como se observa a continuación:

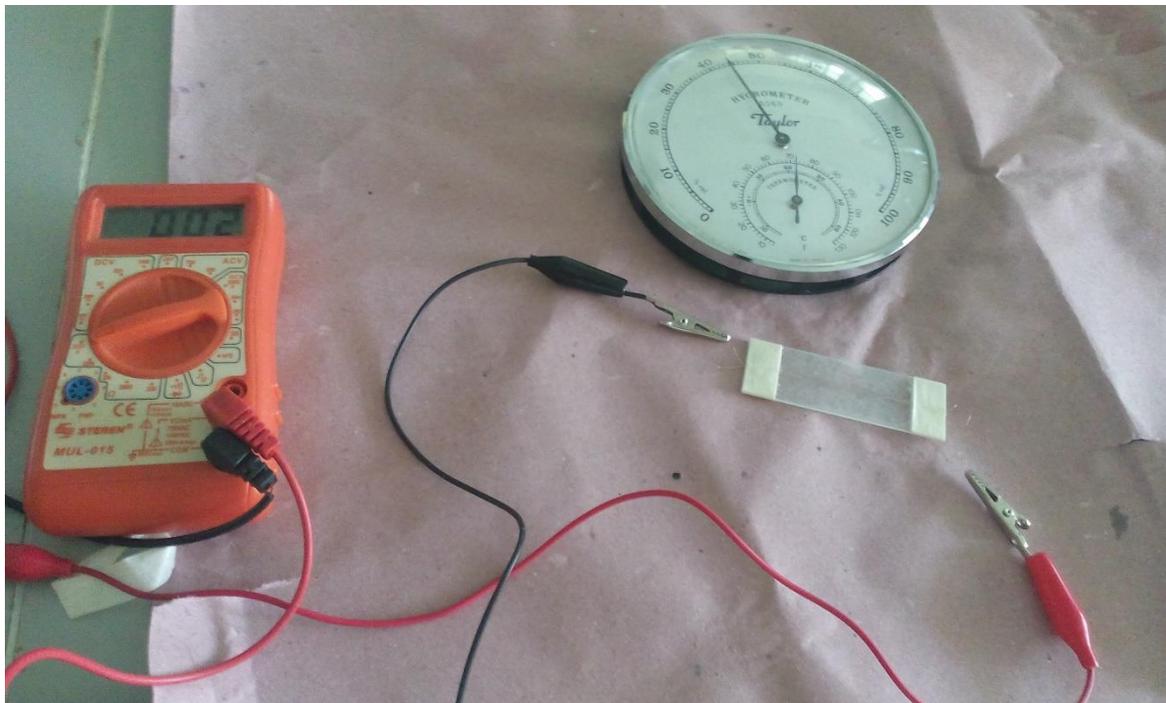


Figura II. 32 Sensor Sol-Gel/Oxido de estaño

II.4.3 Procedimiento experimental Sol-Gel.

El procedimiento para la preparación de la mezcla del Sol-Gel/SnO₂ consiste en los siguientes puntos:

- I. El Óxido de Estaño es soluble en Etanol por lo que se mezcla los volúmenes deseadas de Etanol y Oxido de Estaño, se necesita pesar la cantidad de Oxido de Estaño deseado para la mezcla en una balanza analítica y con una pipeta de 10 ml extraer el Etanol de su recipiente a el vaso de precipitado de 15 ml, con el vidrio de reloj con lo que se pesó el Óxido de Estaño acercarlo para dejar caer el SnO₂ posteriormente poner el vaso de precipitado sobre la parrilla magnética y dejar caer la pastilla magnética, cubrir con Parafilm para evitar que el Etanol se evapore al medio, mezclar a 400 rpm durante 10 min.
- II. Se preparan los demás elementos de la mezcla en este caso será el TEOS, agua destilada y HCl es recomendable tener mucha precaución en la utilización del ácido clorhídrico ya que de los ácidos más fuertes

- III. La parrilla posterior a la mezcla de Etanol y el SnO_2 se enciende de nuevo a 450 rpm durante 5 min en ese lapso de tiempo se le agrega el TEOS dejándolo caer gota a gota para evitar que se forme bolas de gel
- IV. Una vez agregado el TEOS aumentar la velocidad a 550 rpm durante 3 minutos durante este tiempo se le va incorporando el Ácido Clorhídrico comuna micro pipeta o un gotero con mucha precaución.
- V. Mezclado los reactivos anteriores solo falta el elemento que va a catalizar la reacción para la formación de Alcóxidos que será en este caso el agua destilada, se medirá el volumen deseado y se agregará a la mezcla, la parrilla debe estar a una velocidad de 750 rpm, agregar el agua destilada y dejar mezclar durante 15 min

II. 4.4. Preparación de sustratos

Los sustratos utilizados consistieron en porta objetos marca Corning Estos sustratos no deben de contener impurezas o minimizar al máximo las impurezas con las que vienen y especial mente las grasas que pueden impedir que el Sol-Gel se adhiera de forma correcta y eficiente por lo que es necesario limpiarlos químicamente por medio de un lavado con agua regia(Figura 30) durante un día, posteriormente sacar los porta objetos del agua regia y enjuagar con agua destilada, como último paso de limpieza utilizar Alcohol Isopropílico para eliminar cualquier rastro o trazas de grasa o aceites y finalmente se dejar en el Desecador De Vidrio de 250 Mm de Diámetro(Figura 31) con Silica Gel durante un día, evitar al máximo la exposición al medio antes de la aspersión.



Figura II. 35 Agua regia y porta objetos Figura II. 33 Desecador 250 Mm

Figura II. 34 Lavado con agua regia

II.4.5 Aplicación de la solución Sol-Gel

Para la aplicación de la solución se utilizó un compresor de aire portátil marca Adir de 300 psi, se realizó con la mitad de la potencia del aerógrafo con 5 repeticiones de capa esto a una distancia de aproximadamente 25 cm del sustrato respecto a la fuente aspersora, es importante mencionar el uso de una máscara de gas o cubre bocas debido a la propagación de micro partículas de la solución puede causar

malestar en el sistema respiratorio por ello es fundamental tomar las medidas adecuadas para evitar cualquier percance, los porta objetos deben de ir en un ángulo casi recto respecto a la mesa de laboratorio esto para maximizar el área de impacto de la aspersión y el sustrato queda pegado con un pequeño trozo de cinta para evitar que el aire del aerógrafo lo tire como se observa en la siguiente figura:



Figura II. 36 Aerógrafo y porta objetos

Posteriormente se dejó en el desecador de vidrio las placas para después realizar las observaciones correspondientes en un microscopio Binocular Velab Ve-b6.

II.4.6 Observación de poros.

Para la observación de los poros o islas formadas a partir de los sustratos ya expuestos a la solución Sol-Gel/ SnO_2 se utilizó un microscopio binocular Velab Ve-b6 esto con la finalidad de ver las estructuras creadas son las adecuadas de acuerdo a los trabajos anteriores es importante la formación de estructuras en forma de polígonos agudos de acuerdo a esto la formación de estas estructuras es fundamental para una mayor sensibilidad. Se usaron guates de látex para evitar el contacto con la película, estas fueron puestas en el microscopio para su observación como se muestra en la figura 34:



Figura II. 37 Observación a 40X

II.4.7 Aplicación de electrodos.

Para la obtención de nuestros filamentos conductores fue necesario utilizar y experimentar con diferentes métodos pero el método más eficaz fue el de usar pequeños hilos de cobre como nuestros conductores antes de poner la solución Sol-Gel/ SnO_2 , se necesitó cable de UTP para posteriormente sacarle los filamentos de cobre, estos pequeños alambres fueron estirado en forma paralela al sustrato y pegado con una gota de cola en cada uno de los extremos, esto se realiza posterior al lavado, por lo que es importante limpiar con alcohol los pequeños alambres para evitar la contaminación de nuestro sustrato así como utilizar guates de látex y cubre bocas para pegar los alambre al sustrato y resguardarlo de nuevo al desecador.

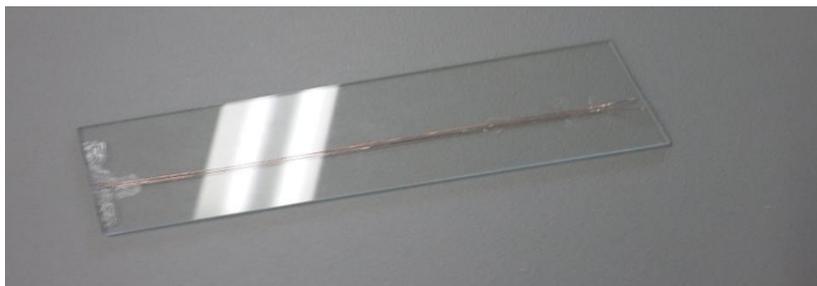


Figura II. 38 Alambres de Cu como terminales eléctricas en porta objetos

II.4.9 Medición de resistencia.

Para la medición de las resistencias se utilizó un multímetro, con ayuda el multímetro y los filamentos conductores de nuestro sustrato se es capaz de medir la resistencia de nuestros sensores como se muestra en la siguiente figura:

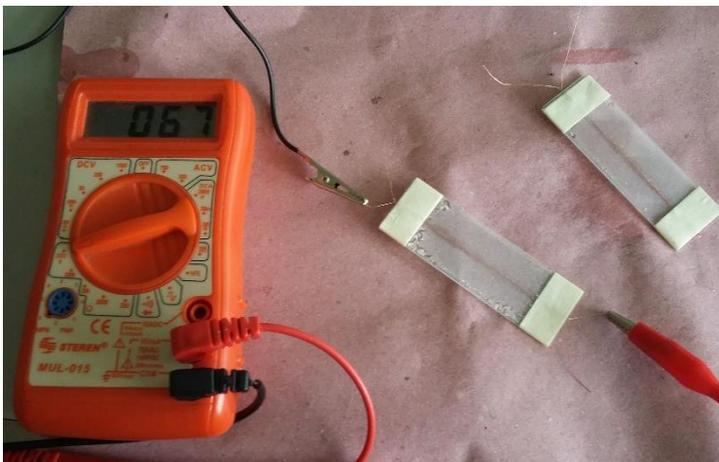


Figura II. 40 Multímetro marca Steren



Figura II. 39 Multímetro marca Trupper

II.4.10 **Ca**lculo indirecto del Ozono.

Para la interpretación correcta de los datos obtenidos es necesario hacer una conversión de los datos de resistencia mediante una ecuación y calibración de los datos.

CAPÍTULO III.

RESULTADOS Y ANÁLISIS.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la construcción y caracterización por microscopia óptica de las películas de sol gel con depósito de SnO₂ para su uso como sensores y/o detectores de ozono. Las construcciones de los sensores fueron basadas en las películas de sol gel.

III. 1. Método Sol-Gel/Estaño modificado

Para la creación de la película modificada con características sensibles ante elementos oxidantes su necesario durante la creación de la mezcla del Sol-Gel/Estaño. La adición del óxido de estaño fue necesario hacer pruebas para determinar cuál concentración era la adecuada para combinarla con el proceso. Se hicieron pruebas en función a las concentraciones de la siguiente tabla:

Concentración en relación al volumen total (%)	SnO ₂ (ml)	SnO ₂ (gr)
0.01	0.000248691	0.001728402
0.05	0.001243454	0.008642008
1	0.024869089	0.172840169
0.4	0.009947636	0.069136067
0.5	0.012434545	0.086420084
0.6	0.014921453	0.103704101

Tabla III. 1 Concentraciones de Oxido de Estaño

En la tabla anterior se observan concentraciones que van desde 0.01 % hasta 1 % en relación al volumen total de la mezcla de Sol-Gel, las concentraciones más bajas de 0.01-0.04 % nos proporcionó poca sensibilidad a la hora de medir la resistencia eléctrica en un rango de 20 KΩ/ 20 MΩ no se obtuvieron datos de medición alguna y en el caso de la concentración más alta que fue de 1 % se dio el caso que la mezcla del Sol-Gel se volvió demasiada turbia haciendo difícil depositarla en los porta objetos además de a la hora de impactar la mezcla de Sol-Gel modificado contra el sustrato se desprendiera el sol gel en el proceso de secado quedando de la siguiente manera:



Figura III. 1 Concentración de 1 % de óxido de estaño en sol-gel

Como se puede observar en la imagen anterior la concentración de 1 % es tan alta que se descascara la mayor parte de la aspersion además de concentrarse a mitad del sustrato por lo que es ineficiente para utilizar esta concentración además de no presentar una medición con el multímetro en un rango de 20 K Ω / 20 M Ω . Para el caso de la concentración de 0.6% y 0.5% fueron las más eficientes ya que se logra adherir al sustrato y presentaron una medición como se observa en la siguiente figura:

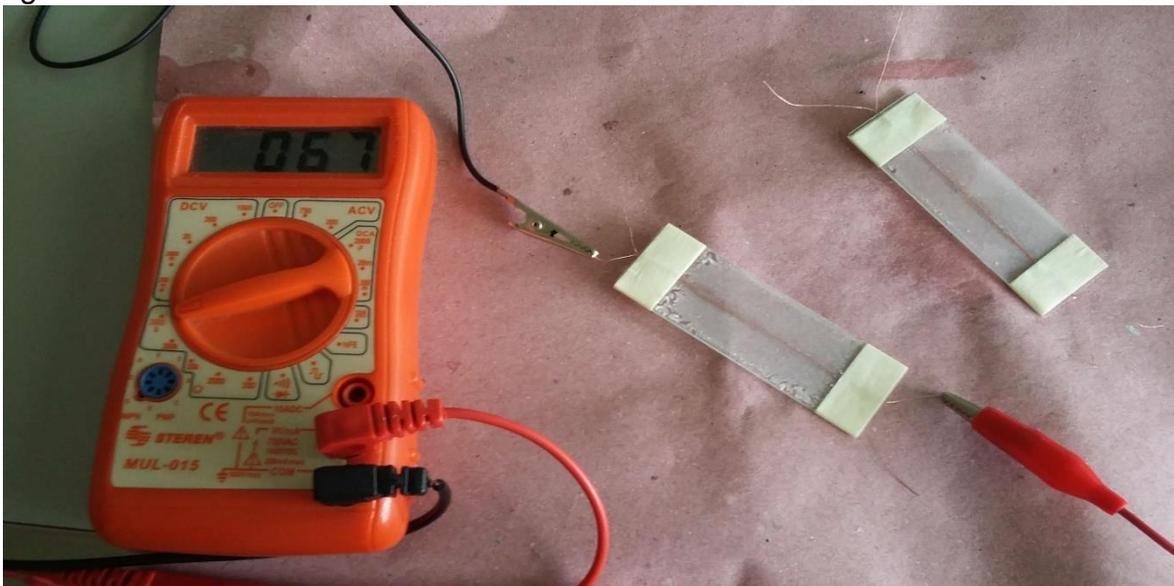


Figura III. 2 Concentración de 0.7 mol

Como se observa en la imagen la película se adhiere eficazmente al sustrato además de presentar una buena sensibilidad ante elementos oxidante.

III. 2 Generación de electrodos

Para la generación de electrodos funcionales se utilizaron varios métodos experimentales y uno con una metodología ya descrita que es el caso del depósito por evaporación de cobre en un medio de super vacío, de estos métodos se utilizó el más eficaz, la eficacia tomo en cuenta principalmente la sinergia a la hora de exponerlo a un medio oxidante por ello se expondrá los métodos utilizados.

III. 2.1. Generación de electrodos de aluminio.

Para la generación de electrodos se realizaron varios experimentos para el primero fue hacer los electrodos con papel aluminio adherido al sustrato debido a la naturaleza frágil y difícil adherencia del papel aluminio no se obtuvieron buenos resultados ya que no se podían conectar los caimanes del multímetro, el sustrato quedó de la siguiente manera para el caso del papel aluminio

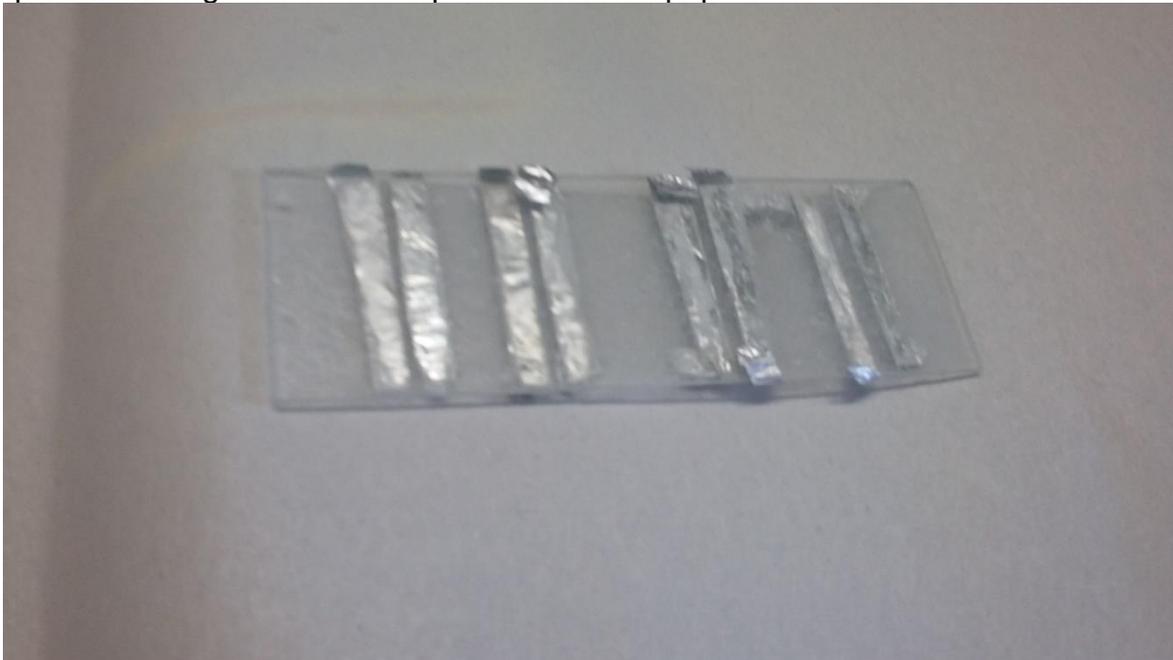


Figura III. 3 Electrodo de Aluminio

Este electrodo fue descartado por varias ineficiencias entre las que destacan: la poca adherencia al sustrato, fragilidad de las puntas y al contacto con la mezcla se rompían.

III. 2.3. Generación de electrodos por medio de un depósito de cobre

Para la generación de electrodos de cobre fue necesario recurrir a la metodología ya establecida para depósitos de elementos por evaporación térmica en un medio de alto vacío, para su generación se realizaron varios pasos, finalmente se

obtuvieron nuestros filamentos o depósitos sobre nuestro sustrato. A continuación, se muestra en la siguiente figura:



Figura III. 4 Electrodo de cobre por método de evaporación térmica en vacío

Los sustratos obtenidos con este depósito en forma de electrodos fue de buena calidad con un espesor de 115 nanómetros, el principal inconveniente que tiene este método para nuestro experimento es que el ácido clorhídrico reacciona de forma agresiva ante la presencia de cobre, por lo que al cabo de unas horas la mezcla de Sol-Gel/ SnO_2 carcome o corroe el electrodo fabricado por el método de evaporación térmica, por lo que fue descartado totalmente, aun podría probarse con un metal más resistente a los componente de la mezcla.

III. 3. “Evaluación De Factores”

“Las características que hacen interesante un recubrimiento del sol-gel, desde el punto de vista tecnológico entre otras, es una buena adherencia al sustrato, espesor homogéneo y entre otros”. (García, 2003) En esta etapa se evaluaron los factores (capas e intensidad del roseado) para crear la película y así elegir el más adecuado. En las figuras siguientes se observan las estructuras de las películas obtenidas a una capa, dos capas, tres capas y 5 capas, respectivamente, las cuales se obtuvieron a 10X.



Figura III. 5
Película de Sol-Gel dopado con una capa e intensidad media (10X)



Figura III. 6
Película de Sol-Gel dopado con dos capas e intensidad media. (10X)



Figura III. 7
Película de Sol-Gel dopado con tres capas e intensidad media. (10X)

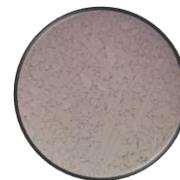


Figura III. 8
Película de Sol-Gel dopado con cinco capas e intensidad media (10X)

En esta etapa se observó que con la película obtenida a 5 capas y a una intensidad media se obtuvieron los mejores resultados que de acuerdo con García, quien menciona alguno de los factores adecuados para obtener la estructura que ese busca en ese trabajo, como lo es la densidad, el espesor y la porosidad, la porosidad juega un papel fundamental al momento de depositar el SnO_2 en el proceso ya que una alta porosidad en la estructura representa una sensibilidad mayor, lo cual gracias al método microscópico óptico podemos observar.

III. 3.1. Tiempo óptimo de lavado

Teniendo los factores óptimos para la realización de la película se pasó a la etapa 2: En esta etapa se evaluó el tiempo de remoción del Sol-Gel con agua (etapa de lavado). En las figuras siguientes se presentan las micrografías de las películas lavadas a 5, 15, 20 y 40 min, respectivamente, debido a que será necesario remover las impurezas que se puedan adherir a el sensor o más específicamente a la película de sol gel con depósito de SnO_2 , por ello se pretenden analizar y determinar el tiempo optimo y el número de veces por el cual la película puede ser sumergida en agua y mantener las mismas características que en él inicio.



Figura III. 9
Película después de 5 min. en agua. (10X con 5 capas)



Figura III. 10
Película después de 15 min. en agua. (10X con 5 capas)



Figura III. 11
Película después de 20 min. en agua. (10X con 5 capas)

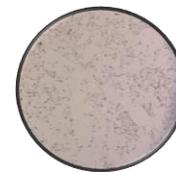


Figura III. 12
Película después de 40 min. en agua. (10X con 5 capas)

III.3.2. Determinación de ozono.

Para la determinación de ozono se evaluó la reacción de 4 sensores(S) en exposición al medio para tener una base. Los sensores se expusieron y se hicieron mediciones en lapsos de 40 segundos. Cada uno de los sensores presentan

diferentes resistencias base, en el caso del S1, comenzó a medir a partir de los 2000kΩ, el S2 a 20kΩ, el S3 a 2000kΩ y el S4 a 2000kΩ, por experimentación se realizó 6 sensores, pero debido a su inestabilidad en cuanto a datos se eligieron los sensores en los que se mantenían los datos más congruentes. El único sensor que presenta una diferencia en cuanto a su resistencia base es el S2 en función al rango promedio de los sensores totales por lo que solo se tomaron en cuenta el S1, S2 y S4 que presentan un mismo rango de medición (2000kΩ).

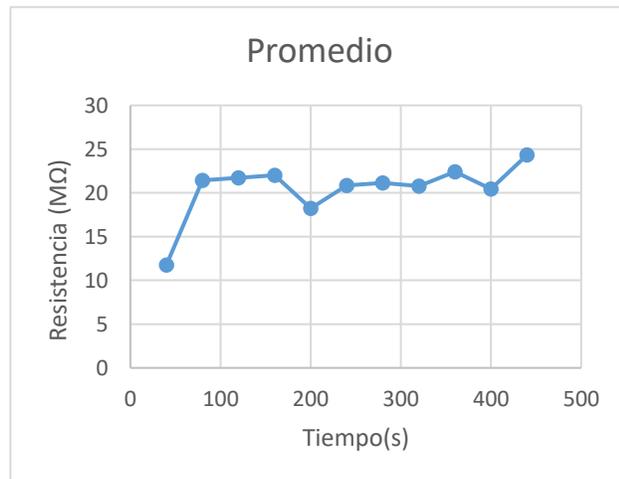
Tiempo(s)	Sensor 1 (2000kΩ)	Sensor 2 (20kΩ)	Sensor 3 (2000kΩ)	Sensor 4 (2000kΩ)
40	12	0.71	9.3	14
80	40	0.71	9.3	15
120	41	0.72	9.2	15
160	42	2.63	9	15
200	31	2.62	8.7	15
240	39	2.63	8.5	15
280	40	2.65	8.4	15
320	38	2.67	8.3	16
360	43	2.68	8.2	16
400	37	2.69	8.3	16
440	48	2.7	9	16

Tabla III. 2 Datos base de conductividad.

Las condiciones del medio fueron de 45% de humedad, 22°C
De los datos obtenidos se hizo un análisis de discriminación de datos del resultado obtenido se obtuvo un promedio que se muestra a continuación.

Tiempo(s)	Promedio
40	11.76666667
80	21.43333333
120	21.73333333
160	22
200	18.23333333
240	20.83333333
280	21.13333333
320	20.76666667
360	22.4
400	20.43333333
440	24.33333333

Tabla III. 3. Datos promedio de sensores



Grafica III. 1 Resistencia Vs Tiempo

Se puede observar en los datos que el sensor al cabo de unos minutos se mantiene relativamente constante con un pequeño desvío con tendencia a aumento de

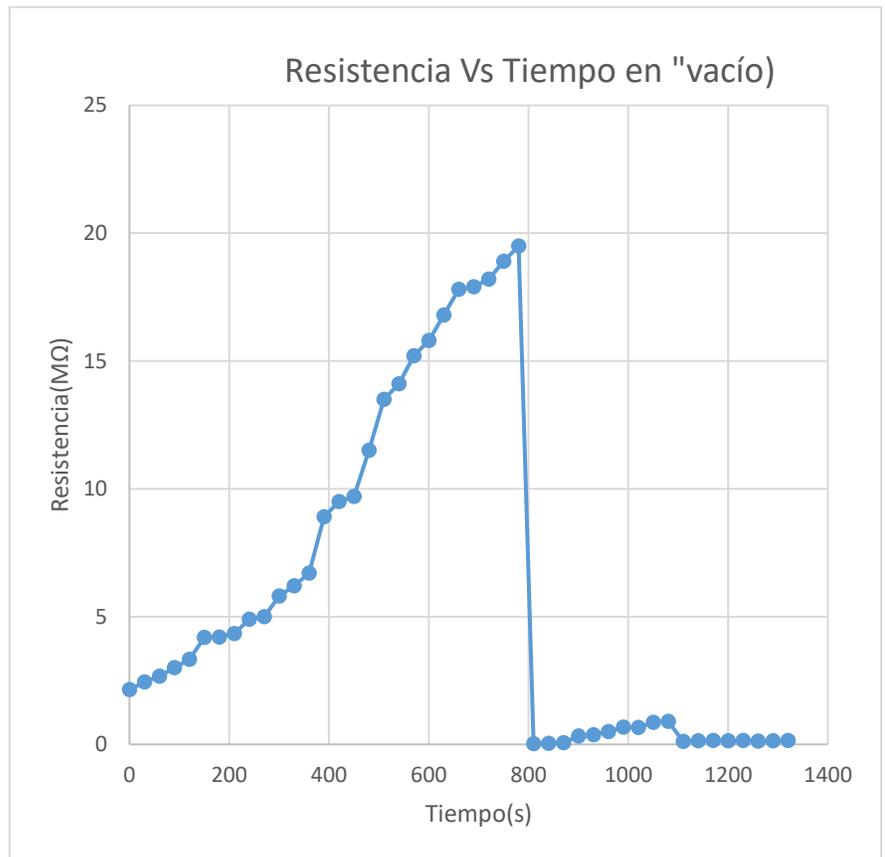
resistencia en un tiempo prolongado esto se debe probablemente a la saturación del sensor debido a que el O₂ de la atmosfera influye en la saturación esto a consecuencia que el O₂ al igual que el O₃ son gases oxidantes.

Ya obtenidos la base para continuar con las mediciones directas de ozono y poder hacer una comparativa se obtuvieron los siguientes datos de promedios.

III.3 .3. Relación vacía/resistencia.

Se hizo un análisis comparativo de la respuesta base y la respuesta sin aire (en vacío) en cuanto a los datos en vacío utilizando el mismo método anterior se obtuvo lo siguiente.

Tiempo (s)	Resistencia k
0	2.14
30	2.44
60	2.67
90	3
120	3.33
150	4.18
180	4.2
210	4.33
240	4.9
270	5
300	5.8
330	6.2
360	6.7
390	8.9
420	9.5
450	9.7
480	11.5
510	13.5
540	14.1
570	15.2
600	15.8



Gráfica III. 2 Resistencia vs Tiempo en "vacío"

Tabla III. 4 Resistencia Vs Tiempo en vacío

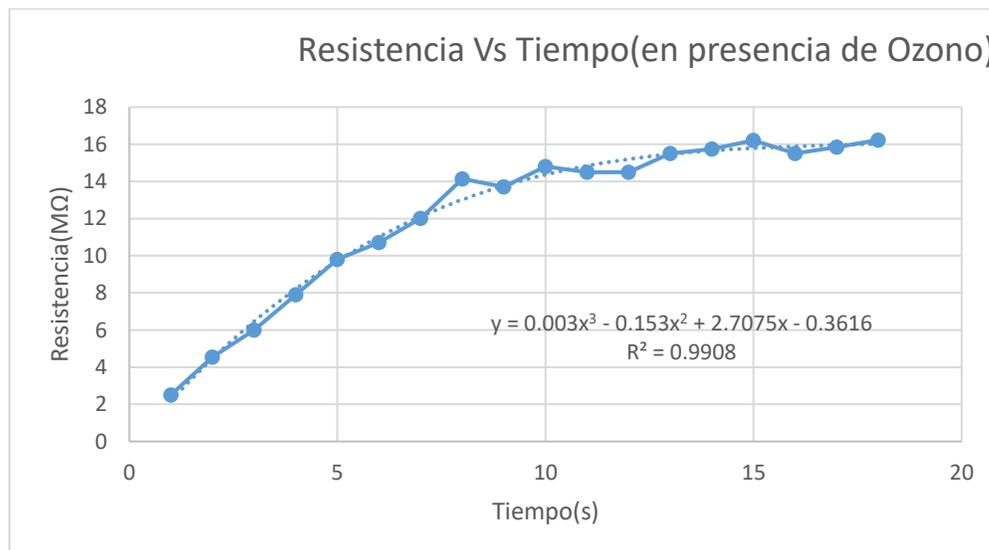
En la gráfica anterior se puede observar el comportamiento del sensor en un medio de "vacío" el vacío logrado en la cámara improvisada no es del todo hermético debido al origen rustico del mismo, pero se puede observar que cuando se va extrayendo los gases del interior de la cámara el valor de la resistencia sube esto

se debe probablemente a que el gas que está dentro se agita y choca más con el sensor, pero al llegar a un punto donde se extrajo el máximo de gases comienza a descender la resistencia, una vez que se extrajo todo el gas posible o para la cámara de vacío se comienza a estabilizar la resistencia en valores bajos en comparación a los valores obtenidos al principio, conforme al resto del tiempo se observa que se estabiliza en un rango de resistencia aproximado de 0.3241 kΩ.

Realizado las comparativas de vacío y el entorno se evaluó en función en presencia de ozono y se obtuvo los siguientes datos.

Tiempo(s)	Punto	S1(MΩ)	Puntos	Varianza
40	1	2.51	1-5	8.0623
80	2	4.54	2-6	6.57172
120	3	6	3-7	5.60062
160	4	7.9	4-8	5.47867
200	5	9.8	5-9	3.49165
240	6	10.7	6-10	2.81665
280	7	12.01	7-11	1.20165
320	8	14.13	8-12	0.17577
360	9	13.71	9-13	0.41552
400	10	14.8	10-14	0.33432
440	11	14.5	11-15	0.58072
480	12	14.5	12-16	0.38672
520	13	15.5	13-17	0.08388
560	14	15.74	14-18	0.09702

Tabla III. 5 Resistencia vs Tiempo en un medio con Ozono



Grafica III. 3 Resistencia Vs Tiempo en un medio con Ozono

En la gráfica 3 se observa un incremento de la resistencia respecto al tiempo, de lo cual se puede decir que el sensor se satura del gas oxidante que sea expuesto, después de la saturación el sensor presenta valores con poca varianza lo cual se entiende que se mantiene relativamente “estable”.

CAPITULO IV.

CONCLUSIONES.

Concorde a los resultados obtenidos se pudo determinar una cantidad de variables que alteran de forma considerable la estabilidad del sensor para obtener los resultados que se esperan, para la elaboración de la solución sol-gel se obtuvo que la concentración de 0.6% de SnO_2 en relación al volumen total de la solución es la adecuada pues le permite detectar compuestos oxidantes, esta concentración no presenta anomalías morfológicas que compliquen su aplicación al sustrato, además de manifestar estructuras cristalinas rectas necesarias, ya que estas estructuras favorecen una mayor sensibilidad al medio expuesto. Para la elaboración de los electrodos se hicieron varias pruebas: Láminas de papel aluminio, tintura de carbón, depósito de cobre mediante una cámara de vacío y la evaporación del metal, limadura de cobre e hilos finos de cobre. De los electrodos utilizados cada uno presento diferentes dificultades de uso, en el caso de las láminas de aluminio eran demasiado frágiles además de necesitar un elemento adherente al sustrato; la tintura de carbón presentaba baja conductividad en tramos mayores a 5 mm por lo tanto fue descartado debido a que se tendría una menor sensibilidad por el área de exposición; en el caso de la evaporación de cobre en vacío para la obtención de electrodos finos, conductivos y con estructura regular, se descartó a causa del HCl presente en la solución sol-gel, el cual interactúa bastante bien con el cobre produciendo gas H_2 (Dihidrógeno) y cloruro cúprico (CuCl_2) en consecuencia la estructura regular formada es destruida y quedando inútil para el proceso; para la limadura de cobre se halló una característica similar a la tintura de carbón pues no se pudo realizar electrodos que eran requeridos debido a que solo es conductor solo en escasos milímetros; los hilos finos de cobre fueron los que se utilizaron para el proceso ergo cuenta con las características necesarias para la medición, además de ser lo suficientemente grueso para no ser corroído por el HCl por lo que fue ideal para las mediciones, la distancia de separación entre los hilos de cobre nos proporcionaba diferentes interacciones al exponerlo al medio, se estableció que a mayor separación de los electrodos de hilo de cobre mayor era la resistencia que se presentaba, por lo que se trabajó con la separación mínima que se logró colocar que fue de 2 a 3 mm de separación.

Para evaluar la efectividad del sensor se hicieron diferentes pruebas que consiste en la exposición a diferentes medios, obteniendo resultados que difieren uno del otro, las variables en este proceso fueron: Un medio "normal" refiriéndose a las condiciones del medio sin exposición a ningún elemento externo o modificación del medio; La exposición del sensor en un medio con poca concentración de oxígeno con ayuda de una cámara de vacío casera; Un medio expuesto a concentraciones de ozono mediante una bobina de tesla y una cámara de exposición:

- Del estudio que se realizó se obtuvo las siguientes conclusiones: Para el medio normal con características de: temperatura de 22° C, humedad relativa de 45% y una resistencia base inicial de 0.71 KΩ. Se observó que la resistencia del sensor contra el tiempo tuvo un comportamiento exponencial durante los primeros 3 minutos llegando hasta los 2.63 KΩ posterior a eso cambia a un aumento lineal ascendente que se mantiene durante los siguientes 5 minutos con una pendiente mínima llegando hasta el minuto 7 con una resistencia de 2.7 KΩ, por lo cual el sensor tiene la capacidad de percibir la presencia de compuestos oxidantes como lo es la humedad del aire y el oxígeno del medio. Cabe señalar que el sensor antes de ser expuesto al medio se encuentra preservado en un desecador, en este medio la humedad del aire es mínima.
- Para el sensor expuesto al medio pobre en oxígeno mostro un comportamiento exponencial bastante marcado durante los primeros 13 minutos con una resistencia base de 2.14 KΩ hasta llegar a 19.5 KΩ a partir del minuto 13 tiene un decaimiento súbito de -19 KΩ en menos de 30 segundos y a posterior a este cambio el valor se mantiene constante con una varianza mínima hasta llegar a un 0.155 KΩ en el minuto 22.
- En el caso del medio expuesto a ozono se pudo observar una curva sigmoidea donde la fase exponencial es del minuto 1 con 2.51 MΩ hasta el minuto 5 con 14.13 MΩ, ya que la varianza en ese punto refleja un valor considerable de 5.33 en promedio, la fase estacionaria es alcanzada en el minuto 8 en adelante teniendo una varianza promedio de 0.296 hasta el final de la medición alcanzando una resistencia de 15.74 MΩ.

Durante todo el proceso se pudo denotar que el sensor es capaz de percibir la presencia de compuestos oxidantes mostrando que a mayor concentración de compuestos oxidantes mayor es la resistencia reflejada en la medición tal es el caso de el sensor expuesto a ozono que de las tres variables es la que representa mayor presencia de compuesto de oxígeno y también se puede determinar que la ausencia de aire en el medio provoca que el sensor presente una menor resistencia, por tanto el sensor realizado tiene la capacidad de detectar la presencia o no de elementos oxidantes y cada uno de estos elementos proporciona graficas diferentes pero no es capaz de cuantificarla, en adición el sensor también tiene un punto de saturación que en exposiciones mayores a 30 min aumenta tanto la resistencia que imposibilita su medición con los instrumentos de uso convencional.

REFERENCIAS.

- [1] Guzmán, Francisco; Jaimes, José Luis; Marroquín, Obet; Sandoval, Julio; Zúñiga, Víctor A.; Ortíz, Ricardo; (2000). Estudio de la influencia del gas LP sobre la formación de ozono en una zona de la Ciudad de México. *Journal of the Mexican Chemical Society*, octubre - diciembre, 294-298.
- [2] Guarnieri, Ricardo André; Echer, Ezequiel; Pinheiro, Damaris Kirsch; Makita, Kazuo; Schuch, Nelson Jorge; Guarnieri, Fernando Luís; Balbuena Contreira, Danieli; Passaglia Schuch, Augusta Maria; Franco Padilha, Liana; (2004). Ozone and UV-B radiation anticorrelations at fixed solar zenith angles in southern Brazil. *Geofísica Internacional*, january-march, 17-22.
- [3] Basset, H. Abdel; Gahein, A.; (2003). Diagnostic study on the relation between ozone and potential vorticity. *Atmósfera*, abril, 67-82.
- [4] Garrido Tamayo, Miguel Ángel; Ospina Montoya, Amado; (2013). Técnicas de medición de ozono: Métodos tradicionales frente al método de cámara de absorción con led ultravioleta como fuente de luz. *Gestión y Ambiente*, agosto-, 95-104.
- [5] Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (o₃). Valor normado para la concentración de ozono (o₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- [6] SIMAT. (2009). Ozono. 12/09/2016, de Secretaria del medio ambiente Sitio web: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-folleto-ozono.pdf>
- [7] Ebi, Kristie; McGregor, Glenn; (2009). Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. *Ciência & Saúde Coletiva*, diciembre-Sin mes, 2281-2293.
- [8] Daniel Domínguez López. (2009). Caracterización y comportamiento del ozono y los óxidos de nitrógeno en Andalucía Occidental. 16/10/2016, de Universidad de Huelva Sitio web: <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/2791/b15576292.pdf?sequence=1>
- [9] Liu, S., Mcfarland, M., Mahlman. C. y Levy, H. (1980). On the origin of tropospheric ozone. *Journal Geophysical Research*, 85, C12, 7546-7552.
- [10] Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *Lancet*, 360(9341), 1233–42. doi:10.1016/S0140-6736(02)11274-8

- [11] Ing. Chester Andrew Sellers. (2013). Publicación de los contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo en tiempo real de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC. 2013, de Universidad Azuay
Sitio web: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2546/1/09734.pdf>
- [12] Greenbelt, Maryland. (2001). Ozono. 17/10/2016, de National Aeronautics and Space Administration Sitio web: <https://cloud1.arc.nasa.gov/solvell/outreach/spanishlink2.pdf>
- [13] Amado Ospina Montoya, Miguel Ángel Garrido Tamayo. (27/06/2013). Ozone measurement techniques: Traditional versus chamber absorption methods with ultraviolet led as light source. *Gestión y Ambiente*, 16, 95.
- [14] R.K.Iler, *The Chemistry of Silica*, (Wiley, New York, 1979)
- [15] Scherer, G.W., *Yogyo-Kyokai Shi*, 95 [1J (1987) 31
- [16] Livage, J. y Lemerle .J, *Ann. Rev. Mater. Sci*, 12 (1982), 103.
- [17] Hench, LL y Ulrich D.R., "Ultrastructure Processing of ceramics glasses and composites", Wiley-Interscience. J. Wiley & Sons. N.Y. 1984.
- [18] Dislich, H., Hinz, P., *J. Non-Crystalline solids*, 48 (1982) 11.
- [19] Rubio Alonso, F. (1994). *ESTUDIO QUIMICO-FISICO DE LA PREPARACION POR EL METODO SOL-GEL DE MATERIALES DEL SISTEMA SiO₂-ZrO₂* (DOCTORADO). UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS.
- [20] Skoog, D.A., F.J. Holler, and T.A. Nieman, *Principios de Análisis Instrumental*. Quinta edición ed. 2001. 1028.
- [21] ARRATE Martínez AGOUES. (2013). 0. En *SENSORES DE FIBRA ÓPTICA PARA LA DETECCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BASADOS EN XEROGELES SILÍCEOS HÍBRIDOS* (89). Navarra, España: UPNA.
- [22] MIT, 1970: *Man's Impact on the Global Environment, Report of the Study of Critical Environmental Problems (SCEP)*, Massachusetts Institute of Technology, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A. 319 pp.
- [23] Barringer Research Ltd., 1969: *Optical measurements of Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide Air Pollution Using Barringer Correlation Spectrometers*. United States Department of Health Education and Welfare (US DHEW) Contractors Report PB 193-485. NTIS, Springfield, Virginia, USA.

- [24] Millán Millán Muñoz. (2009). EL OZONO TROPOSFÉRICO EN EL SUR DE EUROPA: ASPECTOS DINÁMICOS DOCUMENTADOS EN PROYECTOS EUROPEOS. España: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.
- [25] Dasgupta, S., Hettige, H., & Wheeler, D. (2000). what improves environmental compliance? Evidence from Mexican industry. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39(1), 39-66.
- [26] Penza, M., Suriano, D., Cassano, G., Pfister, V., Alvisi, M., Rossi, R., & De Gennaro, G. (2012). P2. 9.23 Portable Chemical sensor-System for Urban Air-Pollution Monitoring. *Tagungsband*, 1767-1770.
- [27] Tsujita, W., Yoshino, A., Ishida, H., & Moriizumi, T. (2005). Gas sensor network for air-pollution monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 110(2), 304-311.
- [28] Chong, C. Y., & Kumar, S. P. (2003). Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 91(8), 1247-1256.
- [29] Verdone, R., Dardari, D., Mazzini, G., & Conti, A. (2010). *Wireless sensor and actuator networks: technologies, analysis and design*. Access Online via Elsevier.
- [30] Martinez, K., Hart, J. K., & Ong, R. (2004). Environmental sensor networks. *Computer*, 37(8), 50-56.
- [31] Guo, H., Low, K. S., & Nguyen, H. A. (2011). Optimizing the localization of a wireless sensor network in real time based on a low-cost microcontroller. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 58(3), 741-749.
- [32] Khedo, K. K., Perseedoss, R., & Mungur, A. (2010). A wireless sensor network air pollution monitoring system. *arXiv preprint arXiv: 1005.1737*.
- [33] Jesús Alberto Ochoa Hernández. (2012/05/10). Desarrollo de un sensor óptico utilizando el método sol-gel para la determinación de pH en suelos. 11, 15.
- [34] Mage, D., Ozolins, G., Peterson, P., Webster, A., Orthofer, R., Vandeweerd, V., Gwynne, M. 1996. Urban Air pollution in megacities of the world. *Atmospheric Environment*, 30(5), 681-686.
- [35] Streit, G. E., Guzman, F.L-F. 1996. Mexico City air quality: Progress of an international collaborative project to define air quality anagement options. *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 5. 723-733.
- [36] SMA-GDF. 2004. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México*, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal, México.
- [37] Dirección de Monitoreo Atmosférico. (2016). ¿Qué es el ozono? 16/01/2017. Sitio web: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-es-ozono.pdf>

- [38] Sommerdijk, N. A. J. M. y J. D. Wright (1998). "Matrix Effects on Selective Chemical Sensing by Sol-Gel Entrapped Complexing Agents", *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 13.
- [39] Wright, John D.; Sommerdijk y A. J. M Nico (2001). "Sol- Gel Materials Chemistry and Applications", *crc Press*.
- [40] Dimitirev, Y.; Y. Ivanova; R. Iordanova (2008). "History of Sol-Gel Science and Technology (review)", *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy.* 43(2).
- [41] Jesús Alberto Ochoa Hernandez. (2012). Desarrollo de un sensor óptico utilizando el método sol-gel para la determinación de pH en suelos. Enero, 2017, de Unicach Sitio web: https://www.unicach.mx/_ambiental/pdf/Art3.11.pdf
- [42] Ballester, Ferran; (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, marzo-abril, 159-175.
- [43] Delgado, Juana S. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos del ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Universidad Jaume Castellón de la Plana. España. 2004. 563p. (Tesis doctoral)
- [44] Cuevas, Emilio A. *Estudio del Comportamiento del Ozono Troposférico en el Observatorio de Izana (tenerife) y su Relación con la Dinámica Atmosférica.* Universidad computense de Madrid, España, 1995. 251p. (Tesis Doctoral)
- [45] Nisperuza, Daniel T. *Diseño y construcción de un sistema óptico de monitoreo atmosférico aplicado a la determinación de la capa límite atmosférica en la ciudad de Medellín.* Medellín: Universidad Nacional, 2010. 86p. (Tesis de Maestría).
- [46] CIEMAT. (2002). Química analítica de los Contaminantes Medioambientales. Serie ponencias. Ed. Ciemat, Madrid, España.
- [47] PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2006). *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono.* ISBN 978-92-807-2770-8.
- [48] Dominguez López, D. (2009). Caracterización y comportamiento del ozono y los óxidos de nitrógeno en Andalucía Occidental (Tesis doctoral). Universidad de Huelva, Andalucía.
- [49] Volz, A. y Kley, D. (1988). Evolution of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. *Nature*, 332, 240-242.

- [50] Janach, W.E. (1989). Surface ozone: trend details, seasonal variations and interpretation. *Journal Geophysical Research*, 94, D15, 18289-18295.
- [51] Vingarzan, R. (2004). A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment*, 38, 3431-3442.
- [52] Trainer, M., Parrish, D., Goldan, P., Roberts, J. y Fehsenfeld, F. (2000). Review of observation-based analysis of the regional factors influencing ozone concentrations. *Atmospheric Environment*, 34, 2045-2061.
- [53] Bloemen, H. J. y Burn, J. (1995). *Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment*. Editorial Blackie Academic and Professional.
- [54] Chameides, L. y Davis, D. (1986). The photochemistry of tropospheric trace species: the central role of radicals and their possible variability. *Studies in Environmental Sciences*, 26, 227-253, 255-266.
- [55] Finlayson-Pitts, B.J. y Pitts, J. (2000). *Chemistry of the Upper and Lower atmosphere*. Editorial Academic Press.
- [56] Wayne, R.P. (2000). *Chemistry of the atmospheres*. Editorial Oxford University Press.
- [57] Babor, J.A. e Ibarz, J. (1974). *Química general moderna*. Editorial Marín.
- [58] García-Tuñón, M. (2003). «APLICACIÓN DE ESPECTROSCOPIAS ÓPTICAS AL ESTUDIO DE RECUBRIMIENTOS DE SOL-GEL Y CERÁMICAS TENACES,» Tesis Doctoral, Madrid.
- [59] Colorado, P. P. (2006). *Elaboración y optimización de espejos concentradores*. CIUDAD DE MÉXICO: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA .
- [60] Heavens O.S., *Optical Properties of Thin Solid Films*; Dover Publications, USA; 1991.
- [61] Kiyotaka Wasa, Shigeru Hayakawa, *Handbook of Sputter Deposition Technology. Principles, Technology and Applications*; Noyes Publications, Park Ridge, N.J., 1992.
- [62] R.F. Bunshah, *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coating*, Noyes Publications, Park Ridge, N.J.; 1994.
- [63] Brian Chapman, *Glow Discharge Processes, Sputtering and Plasma Etching*, John Wiley & Sons Publications, USA; 1980.

