



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

## DISEÑO, FABRICACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN OZONIZADOR PARA EL TRATAMIENTO DE ÓXIDOS AMORFOS EN EL LABORATORIO DE MICROELECTRÓNICA

# TESIS

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

**Presentan**

Arredondo Amador Brayan Alejandro

Torres Cano Julio Cesar

**Director de Tesis**

Ing. Moreno Espinoza Oscar Guadalupe

Cd. Mx. Septiembre 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



# Agradecimientos

Un gran agradecimiento al Dr. Isaí Hernández Luna por proporcionarnos el tema de tesis y a su paciencia durante el desarrollo de éste y sobre todo por brindarnos su tiempo y gran apoyo a lo largo de todo nuestro proyecto de titulación.

En gran medida quiero agradecer al CINVESTAV por permitirnos entrar en sus instalaciones y hacer uso de estas para apoyarnos a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al Dr. Iván Garduño quien fue quien estuvo a cargo de nosotros durante toda nuestra estadía en la institución y nos asesoró en los inicios de la escritura de la tesis.

A la UNAM y a la FES Aragón por darme un lugar como estudiante en sus instalaciones y brindarme todo el apoyo y conocimiento que me dio paso a escribir esta tesis.

Y, por último, pero no menos importante quiero agradecer a mi familia por todo su apoyo tanto moral como económico que me proporcionaron y me permitió concluir satisfactoriamente este objetivo tan importante.

Arredondo Amador Brayan Alejandro

Mi agradecimiento al Dr. Isaí Hernández Luna por sugerirnos un tema de tesis y hacerse responsable de que lo terminásemos al presionarnos y ayudarnos siendo un gran amigo y mentor, además de siempre estar ahí para extender su mano cuando se lo pedimos hasta el final.

Al todos los integrantes del CINVESTAV y en especial a la comunidad de la SEES desde los doctores, maestros y ayudantes por permitirnos realizar nuestro servicio social ahí y apoyarnos en nuestra tesis.

A la UNAM por ofrecernos tantos conocimientos, experiencias, vivencias y por darme oportunidad de formar parte del ella.

A mis padres en principal que me apoyaron todo el tiempo y siempre confiaron siendo un pilar de ayuda en muchas cosas para que yo pudiera terminar mis estudios para así tener una mejor preparación en el futuro.

A mis familiares que siempre estaban ahí para prestar la mano cuando fue necesario y ayudarme en situaciones en donde no tenía el apoyo de mis padres, ellos me sirvieron de guía.

A mis amigos que hice, les agradezco por convivir conmigo, esas risas que compartimos no se olvidaran porque son el lazo que nos unen.

Torres Cano Julio Cesar

# Resumen

En el presente trabajo de tesis se desarrolló el diseño, elaboración y automatización de un dispositivo ozonizador para el tratamiento de superficies de películas delgadas que se ocupa en el laboratorio de microelectrónica. Un ozonizador es un equipo capaz de generar ozono. El ozono debido a sus propiedades tiene una gran utilidad tanto a nivel industrial, médico o en la microelectrónica para la desinfección, limpieza de áreas y tratamiento de superficies. El uso del ozono en el laboratorio de microelectrónica funciona como una alternativa para realizar tratamientos a las superficies y limpieza de materiales usados en la fabricación de dispositivos electrónicos.

Durante nuestro periodo de servicio social desarrollado en el “centro de investigación y de estudios avanzados” (Cinvestav) del IPN, dentro de la sección de electrónica del estado sólido (SEES) se nos compartió parte del proceso de fabricación de dispositivos de óxidos amorfos donde se realizan tratamientos a las películas delgadas para mejorar sus características eléctricas. De esto surge la idea de desarrollar un equipo electrónico para dar tratamientos alternativos o adicionales a las superficies de las capas finas y que no afecte los demás materiales que compone a la estructura. Adicionalmente, el proceso de limpieza de sustratos que se ocupan durante la fabricación de dispositivos se realiza en un tiempo prolongado, es de alto riesgo físico y costoso. El dispositivo ozonizador puede ser usado con doble propósito, la limpieza de sustratos, y/o tratamiento de superficies.

El tratamiento en ozono por efecto corona se puede caracterizar por ser simple, de bajo costo y de baja temperatura. Se puede utilizar como tratamiento alternativo para reducir las impurezas nativas después del depósito de las películas de los materiales, como un camino efectivo para ajustar las propiedades eléctricas de los dispositivos fabricados.

Durante el diseño y elaboración del dispositivo se buscó que su desarrollo fuera de manera competitiva con el mercado actual, por lo que se construyó con materiales de bajo costo y resistentes a la degradación causada por el ozono.

## Abstract

In this thesis work, the design, elaboration and automation of an ozonator device for the treatment of thin film surfaces that are used in the microelectronics laboratory will be developed. An ozonizer is a piece of equipment capable of generating ozone. Ozone, due to its properties, is very useful both at an industrial and medical level or in microelectronics for disinfection, cleaning of areas and surface treatment. The use of ozone in the microelectronics laboratory works as an alternative to carry out surface treatments and cleaning of materials used in the manufacture of electronic devices.

During our period of social service developed in the "centro de investigacion y de estudios avanzados" (Cinvestav) of the IPN, within the sección de electronica del estado solido (SEES) we shared part of the manufacturing process of amorphous oxide devices where Treatments are performed on the thin films to improve their electrical characteristics. From this arises the idea of developing electronic equipment to give alternative or additional treatments to the surfaces of the thin layers and that does not affect the other materials that make up the structure. Additionally, the cleaning process of substrates that are used during the manufacture of devices takes a long time, is of high physical risk and is expensive. The ozonator device can be used for dual purposes, cleaning substrates, and/or surface treatment.

Ozone treatment by corona effect can be characterized by being simple, low cost and low temperature. It can be used as an alternative treatment to reduce native impurities after deposition of material films, as an effective way to adjust the electrical properties of fabricated devices.

During the design and development of the device, its development was sought to be competitive with the current market, so it was built with low-cost materials resistant to degradation caused by ozone.

# Índice

Contenido	
Portada .....	I
Agradecimientos .....	III
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Índice .....	VII
Objetivos .....	X
Simbología.....	XI
Abreviaturas .....	XII
CAPITULO I – Ozono .....	1
1.1    Propiedades del ozono .....	2
1.1.1    Inconvenientes del ozono .....	3
1.2    Ozono en la naturaleza .....	3
1.2.1    El ciclo del ozono.....	5
1.2.2    Métodos de obtención del ozono .....	5
1.2.2.1    Luz ultravioleta .....	6
1.2.2.2    Efecto corona.....	7
1.2.2.3    Hidrolisis.....	9
1.2.2.4    Plasma frio .....	9
1.3    Aplicaciones del ozono .....	10
1.3.1    Ozono como desinfectante .....	11
1.4    Conclusiones .....	12
CAPITULO II – Laboratorio de microelectrónica en aplicación con ozono .....	13
2.1    Laboratorio de microelectrónica en la SEES.....	14
2.1.1    Laboratorio de Polímeros .....	14
2.2    El ozono y el tratamiento de superficies.....	15
2.3    El ozono y la limpieza de superficies .....	18
2.3.1    Limpieza RCA en la SEES .....	19
2.3.2    Medidas de control de contaminantes en el laboratorio.....	21
2.4    Conclusiones .....	22
CAPITULO III – Principios del ozonizador.....	23
3.1    Características de un dispositivo ozonizador .....	24



3.2 Cuantificación del ozono .....	25
3.2.1 El origen de los sensores de gas .....	26
3.2.2 Sensores de ozono .....	26
3.2.2.1 Sensores de ozono basados en análisis UV .....	27
3.2.2.2 Sensores electroquímicos de ozono .....	28
3.2.2.3 Sensores de ozono basados en semiconductores .....	28
3.3 Módulo sensor de ozono MQ-131 .....	30
3.4 Tipos de ozonizadores .....	31
3.4.1 Generadores de ozono estáticos .....	31
3.4.2 Generadores de ozono portátiles .....	32
3.5 Tipos de generadores de ozono en el mercado .....	33
3.6 Conclusiones .....	36
CAPITULO IV – Diseño y elaboración del dispositivo ozonizador .....	37
4.1 Diagrama de flujo para comprender el funcionamiento .....	37
4.2 Diseño del Proyecto .....	38
4.2.1 Diagrama Eléctrico .....	38
4.2.2 Diseño 3D de la carcasa del dispositivo ozonizador .....	40
4.2.2.1 A.- Sección de acondicionamiento para la alimentación y voltaje del arco eléctrico .....	41
4.2.2.1.1 Fuente de poder 24V a 1A .....	41
4.2.2.1.2 Transformador Flyback .....	42
4.2.2.1.3 Módulo relevador controlable .....	44
4.2.2.1.4 Módulo regulador de temperatura e inducción para el transformador flyback y estabilización de voltaje .....	45
4.2.2.2 B.- Sección de generación de ozono por efecto corona .....	46
4.2.2.2.1 Diseño de placas para el arco eléctrico .....	46
4.2.2.2.2 Ventilador .....	47
4.2.2.3 C.- Sección de tratamiento de sustratos .....	48
4.2.2.3.1 Extractor .....	48
4.2.2.4 D.- Panel de control .....	49
4.2.2.4.1 Tarjeta de desarrollo Arduino .....	49
4.2.2.4.2 Monitor de cristal líquido (LCD) .....	51
4.2.2.4.3 Módulo adaptador I2C .....	52
4.3 Elaboración .....	53

4.3.1 Prototipo .....	53
4.3.2 Ensamblaje final .....	54
4.3.2.1 Ensamblaje de las secciones del dispositivo ozonizador .....	55
4.3.2.1.1 Sección de generación y acondicionamiento para el voltaje del arco eléctrico .....	55
4.3.2.1.2 Sección de generación del arco eléctrico .....	56
4.3.2.1.3 Sección de tratamiento de sustratos.....	57
4.3.2.1.4 Panel de control .....	59
4.3.3 Producto final .....	59
4.4 Conclusiones .....	62
CAPITULO V – Resultados experimentales del funcionamiento en el dispositivo ozonizador .....	63
5.1 Calibración del sensor MQ-131.....	63
5.1.1 Experimentación de concentración de ozono .....	64
5.1.2 Experimentos de degradación de ozono en la cámara del dispositivo ozonizador .....	66
5.2 Resultados del dispositivo ozonizador como tratamiento de superficies .....	68
5.3 Resultados del dispositivo ozonizador como limpieza de superficie.....	73
5.4 Conclusiones .....	75
CAPITULO VI – Conclusiones generales .....	76
Glosario.....	78
Índice de Imágenes .....	80
Índice de tablas .....	83
Bibliografía .....	84
Anexos .....	87
Código de programación para la automatización del panel de control del dispositivo ozonizador .....	87
Tablas del HfO <sub>2</sub> .....	91
Tablas del HIZO .....	92
Tablas de costos del dispositivo ozonizador .....	93
Manual del dispositivo ozonizador .....	94
Precauciones.....	94

# Objetivos

En el presente trabajo de Tesis se planteó como objetivo general:

Diseño, elaboración y automatización de un dispositivo ozonizador por efecto corona para el tratamiento de superficies de capas finas y para los sustratos ocupados en el laboratorio de microelectrónica.

Para cubrir el objetivo anterior nos hemos planteado las siguientes actividades a cumplir en el orden siguiente:

- Revisión bibliográfica del ozono, propiedades, métodos de generación, y aplicaciones.
- Revisión bibliográfica de aplicaciones con ozono dentro del laboratorio de microelectrónica.
- Revisión bibliográfica de los dispositivos ozonizadores, características y diferentes presentaciones en el mercado.
- Revisión bibliográfica de sensores detectores de ozono y sus características.
- Revisión bibliográfica de los componentes eléctricos y electrónicos que comprenden al dispositivo ozonizador.
- Diseño y elaboración de un dispositivo ozonizador mediante el uso de componentes eléctricos y electrónicos para su uso en laboratorio.
- Obtención de ozono generado por medio del ozonizador por efecto corona y medición de la concentración de ozono mediante el uso del sensor MQ-131.
- Estudio y análisis del ozonizador como equipo para tratamiento de superficies de óxidos amorfos ocupados para la fabricación de dispositivos microelectrónicos.
- Estudio y análisis del ozonizador como equipo para la limpieza de superficies.

# Simbología

**O<sub>2</sub>**: dioxígeno

**O<sub>3</sub>**: ozono

**mol**: Cantidad de masa atómica de un elemento

**g**: gramo

**h**: hora

**Hz**: Hertz

**km**: kilómetro

**J**: Joule

**nm**: nanómetro

**Cl<sub>2</sub>**: dicloro

**NO<sub>2</sub>**: dióxido de nitrógeno

**WO<sub>3</sub>**: trióxido de wolframio

**°C**: grados centígrados

**L**: litro

**cm**: centímetro

**atm**: atmosfera

**kv**: kilovolts

**v**: volts

**A**: ampere

**mm**: milímetros

**DC**: corriente directa

**CC**: corriente continua

**CA**: corriente alterna

# Abreviaturas

**SEES:** Sección de Electrónica del Estado Sólido

**CINVESTAV:** Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

**pH:** potencial de hidrogeno

**pm:** peso molecular

**ppm:** partes por millón

**UV:** ultra violeta

**HIZO:** el óxido de hafnio-indio-zinc

**HfO<sub>2</sub>:** óxido de hafnio

**PVDF:** fluoruro de polivinilideno

**EPDM:** caucho de etileno propileno dieno

**PVC:** policloruro de vinilo

**ppb:** partes por billón

**ITO:** oxido de indio y estaño

**FTO:** óxido de estaño dopado con flúor

**IZO:** óxido de zinc indio

**AZO:** óxido de zinc dopado con aluminio

**AFM:** microscopio de fuerza atómica

**PEL:** límite de exposición permisible

**ISO:** estándar internacionalmente aceptado que indica como poner un sistema de gestión medioambiental efectivo en su sitio

**UNE:** conjunto de normas, normas experimentales de la asociación española de normalización

**TTL:** lógica transistor a transistor

**TFTs:** transistor o transistores de películas finas

**FET:** transistor de efecto campo

**AVR:** familia de microcontroladores del fabricante Atmel

**TRC:** transformadores de núcleo cerrado

**LCD:** monitor de cristal liquido

**STO:** titanato de estroncio

**LAO:** aluminato de lantano

**CMOS:** semiconductor complementario de óxido metálico

**RF:** radio frecuencia

**RT:** temperatura ambiente

**AOS:** semiconductores de óxido amorfo

**RTC:** reloj en tiempo real

**RH:** humedad relativa

**RLFLY:** relevador flyback

**RLEXT:** relevador extractor

# CAPITULO I – Ozono

El ozono ( $O_3$ ) es una molécula la cual se encuentra formada por tres átomos de oxígeno con carga eléctrica negativa. La palabra ozono deriva del vocablo griego *ozein*, que significa oler. Se encuentra presente en altas concentraciones en toda la atmosfera de la tierra. Se forma naturalmente a partir del dioxígeno<sup>1</sup> ( $O_2$ ) de forma natural por la acción de la luz ultravioleta o durante tormentas eléctricas. El olor especial de “frescor” es característico del ozono en donde se encuentre presente [1].

Descubierto por Christian Friedrich Schönbein, (figura 1.1) en 1839 realizando experimentos con chispas eléctricas sobre el agua cuando notó el olor acre y lo reconoció como el olor que a menudo sigue a un rayo.



Las palabras con super índice pueden ser consultadas en el glosario de la sección de anexos

Los números entre corchetes señalizan las referencias que pueden consultarse en la sección de anexos

Figura 1.1 Christian Friedrich Schönbein [2] (1799–1868)

El estado natural del ozono es el gaseoso, según la evidencia experimental de la espectroscopía de microondas<sup>2</sup>.

La longitud de enlace O - O es 127.2 pm (1.272 Å) y su ángulo de enlace O - O - O es 116.78 ° tal como se presenta en la figura 1.2

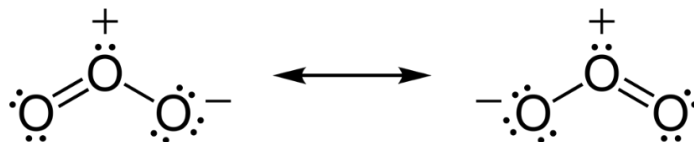


Figura 1.2 Resonancia de las estructuras de Lewis de la molécula de ozono

## 1.1 Propiedades del ozono

En condición estándar, el ozono es un gas azul pálido que se condensa a temperaturas criogénicas progresivas en un líquido azul oscuro y finalmente un sólido negro violeta. La inestabilidad del ozono es común, que tanto el gas concentrado como el ozono líquido, pueden descomponerse explosivamente a temperaturas elevadas o al calentamiento rápido hasta el punto de ebullición. El ozono se utiliza comercialmente solo en bajas concentraciones. En la tabla 1.1 se presentan las propiedades físicas del ozono.

<b>Peso molecular (PM)</b>	<b>47.998 g/mol</b>
<b>Temperatura de condensación</b>	<b>- 112 ° C</b>
<b>Temperatura de fusión</b>	<b>-197.2 ° C</b>
<b>Densidad</b>	<b>2,144 g/l</b>
<b>Densidad (líquido a -182 ° C)</b>	<b>1.572 gr/cm 3</b>
<b>Peso del litro de gas (a 0° C y 1 atm)</b>	<b>1,144 gr</b>

Tabla 1.1 Propiedades físicas del ozono

El ozono es un potente oxidante (mucho más que el dióxígeno<sup>1</sup>) y tiene muchas aplicaciones industriales y de consumo relacionadas con la oxidación. Convenientemente con una mayor concentración en la estratosfera (de dos a ocho ppm) es beneficiosa, evitando que la luz UV dañina llegue a la superficie de la Tierra [3].

Observando que el ozono es un fuerte oxidante. Es capaz de oxidar casi todos los metales ya que reacciona efectivamente con varios elementos de la tabla periódica y presenta una gran reacción con compuestos orgánicos e inorgánicos.

La tabla 1.2 presenta el nivel de oxidación del ozono en comparación de otros elementos, mostrando el valor del potencial de reducción<sup>3</sup> (redox) con otros compuestos.

Especie	E <sup>0</sup> (V, 25° C)
Flúor (F)	3,03
Radical Hidroxilo (HO <sup>0</sup> )	2,80
Oxígeno atómico (O)	2,42
Ozono (O <sub>3</sub> )	2,07
Peróxido de Hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1,78
Permanganato (MnO <sub>4</sub> )	1,68
Dióxido de Cloro (ClO <sub>2</sub> )	1,57
Cloro (Cl)	1,36

Tabla 1.2 Potencial de reducción de algunos compuestos oxidantes



### **1.1.1 Inconvenientes del ozono**

El ozono es un irritante respiratorio, su influencia sobre la salud se basa en su toxicidad. El alto potencial oxidante hace que el ozono dañe los tejidos mucosos y respiratorios en los seres vivos y un deterioro en el tejido de las plantas, por encima de concentraciones de 0.1 ppm. Debido a su pequeña capacidad de disolución, el ozono penetra en las vías respiratorias e irrita las mucosas y los tejidos pulmonares.

Altas concentraciones de ozono, largas exposiciones temporales y actividad física constante durante la exposición causan graves efectos en la salud como disminución en la función pulmonar, agravamiento asmático, falta de aliento, dolor de pecho en respiraciones profundas, respiración silbante y tos. Como consecuencia de esto puede dar lugar a admisiones de hospitales, visitas a emergencias debido a problemas respiratorios. La exposición repetida a ozono puede hacer que la gente sea más susceptible a infecciones respiratorias, inflamaciones pulmonares y pueden agravar enfermedades respiratorias pre-existentes como asma, bronquitis y fibrosis pulmonar [4].

### **1.2 Ozono en la naturaleza**

El ozono se encuentra presente de manera natural en la estratosfera, formando una capa en muy altas concentraciones, con un máximo de espesor de 25 km. El ozono filtra los rayos ultravioletas dañinos para el ser humano, evitando que alcancen la superficie terrestre. La capa está formada por la acción de la radiación solar sobre el oxígeno atmosférico, lo que provoca que las moléculas de oxígeno se rompan y se recombinen posteriormente en forma de moléculas de ozono [5]. En la figura 1.3 se puede observar las capas externas de la Tierra, la zona marcada con una línea roja muestra el área en donde el ozono se encuentra de manera natural.

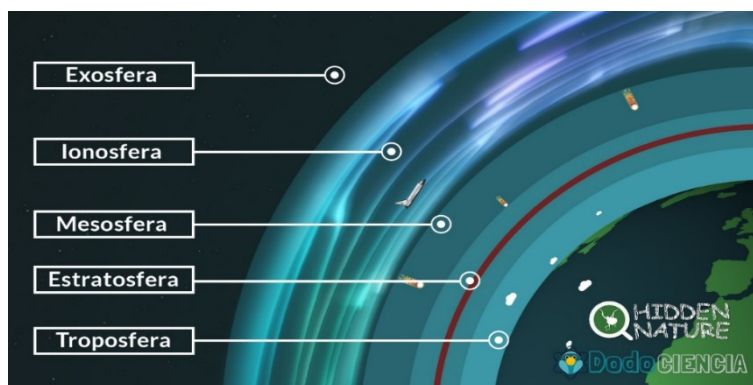


Figura 1.3 El ozono en la estratosfera

Por el contrario, el ozono que está presente en las proximidades del suelo tiene su origen principalmente debido a las reacciones químicas producidas en la troposfera a partir de contaminantes como son sustancias emitidas por el tráfico, la industria y la vegetación. Se puede referir al ozono como un contaminante secundario de origen fotoquímico dañino para los seres vivos. Estos procesos fotoquímicos se producen de manera natural, a partir de las emisiones de las plantas y otros seres vivos, por lo que siempre se encuentra presente una cierta concentración de ozono a niveles superficiales.

Otros mecanismos que pueden dar origen a altas concentraciones de ozono superficial puede ser la exposición a fuertes campos electromagnéticos, como los producidos en las tormentas eléctricas.

Como se mencionó anteriormente, el ozono que protege de la radiación solar encontrada en la estratosfera está a 50 km de altura, en cambio, a 10 km de la tierra se produce el ozono dañino localizado en la troposfera, en la figura 1.4 se muestra la representación del ozono en la atmosfera.



Figura 1.4 Distribución del ozono en la atmosfera.

## 1.2.1 El ciclo del ozono

Es un ciclo de formación y destrucción del ozono en la estratosfera, de una manera natural, producido por las radiación solar en el espectro UV. Este ciclo, se representa en la figura 1.5

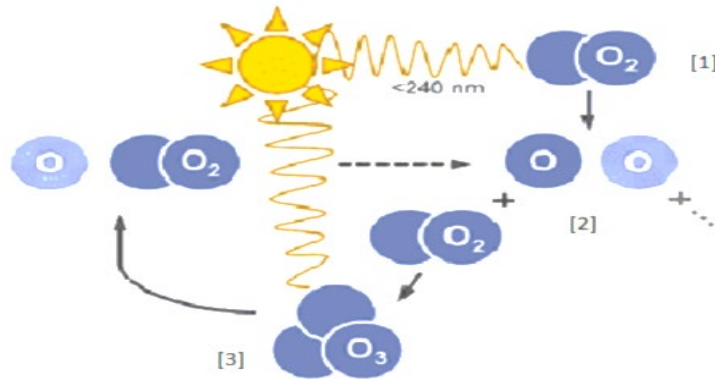


Figura 1.5 El ciclo del ozono.

En la reacción 1 se produce un efecto de descomposición del oxígeno ( $\text{O}_2$ ) por acción de la radiación ultravioleta emitida por el sol de menos de 240 nm produciendo dos átomos de oxígeno.

En la reacción 2 los átomos libres generados por la primera reacción se recombinan en tripletes formando una molécula de ozono.

Finalmente, en la reacción 3 nuevamente se produce la destrucción del ozono por acción de la radiación ultra violeta, dando como resultado una molécula de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) + un átomo de oxígeno.

## 1.2.2 Métodos de obtención del ozono

El ozono se genera de manera natural mediante procesos físicos o químicos. El humano ha logrado desarrollar técnicas para su obtención replicando estos fenómenos, algunos de ellos son los siguientes.

### 1.2.2.1 Luz ultravioleta

Este método de generación se da naturalmente en la estratosfera, para entender la generación de ozono por medio de radiación UV y comprender que el espectro UV se divide en 4 intervalos de longitud de onda (A, B, C y UV de vacío), siendo el correspondiente a la luz UV de vacío el que interesa para producir ozono. Dicha radiación interactúa con moléculas de  $O_2$ , dividiéndolas en dos átomos de oxígeno y haciendo que estos átomos se unan en moléculas de tres átomos de oxígeno, generando moléculas de ozono, aunque también puede destruirlas. Debido a que los enlaces impares de la molécula son muy inestables, ésta eventualmente regresa a su estado original como dioxígeno<sup>1</sup> ( $O_2$ ) [6]. Dicho proceso se ilustra en la figura 1.6

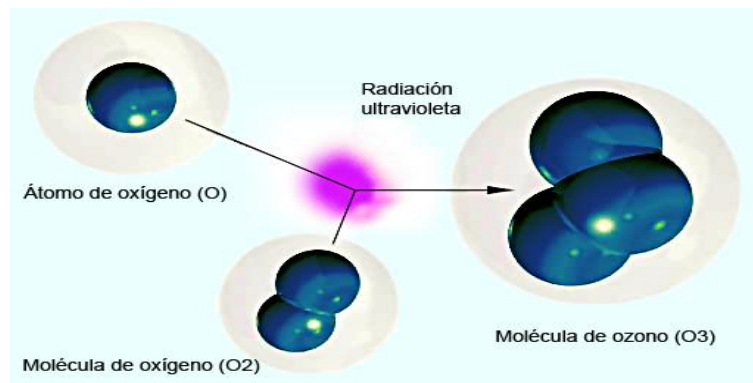


Figura 1.6 Transformación de oxígeno a ozono mediante luz ultravioleta.

Lograr la creación o destrucción del ozono con radiación electromagnética UV depende de la longitud de onda de la fuente de luz UV, por tanto la cantidad de energía transmitida. La radiación UV crea ozono a partir de longitudes de onda cortas de menos de 240 nm (concretamente de 100 a 240 nm), destruyéndolo a partir de dicha cantidad y hasta 315 nm. A partir de longitudes de onda de aproximadamente 315 y hasta 380 nm, no se genera ningún tipo de interacción con el ozono. La longitud de onda que se ha estipulado para las lámparas generadoras de ozono es de 185 nm como cantidad óptima para no aproximarse tampoco a la franja de destrucción de éste, lo cual significa que, fijándola en un rango cercano a ese valor, se podría controlar la generación de ozono [7]. En la siguiente figura 1.7 se ilustra el rango de la luz ultravioleta en el espectro de luz.

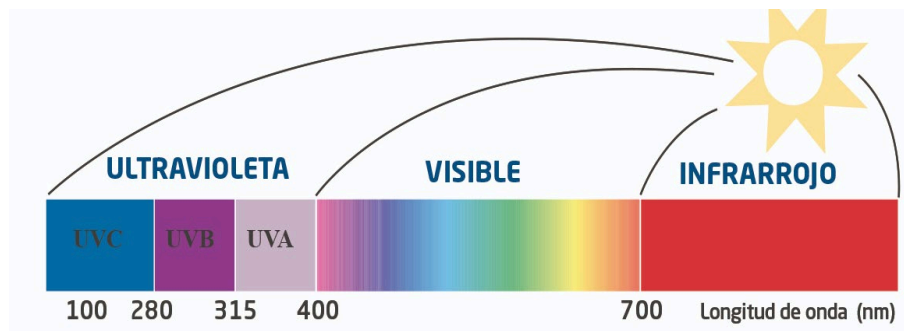


Figura 1.7 Rango de luz ultravioleta en el espectro de luz

### 1.2.2.2 Efecto corona

El efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce debido a la ionización<sup>4</sup> del dióxígeno<sup>1</sup> en el aire, que rodea a un conductor cargado al aplicarle un voltaje elevado. En ocasiones puede ser un efecto visible e incluso audible.

El efecto corona tiene lugar cuando la rigidez dieléctrica<sup>5</sup> del aire es superada por un voltaje aplicado a dos terminales conductoras, generando pequeñas chispas o descargas a escasos centímetros del conductor. Al momento que las moléculas del aire se ionizan, éstas pasan a ser conductoras de la corriente eléctrica y parte de los electrones que viajan por el cable pasan a circular por el aire aumentando la temperatura en el gas de dióxígeno [8].

El gas ionizado por el efecto es químicamente activo y durante su ocurrencia se producen gases como Ozono ( $O_3$ ) y monóxido de nitrógeno (NO), los cuáles evolucionan a dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y a ácido nítrico en ambientes húmedos.

En las líneas de transmisión, puede aparecer en los conductores, herrajes, amortiguadores, aisladores de la estructura, y en general en cualquier punto donde se supere el gradiente de potencial mínimo como se muestra en la Figura 1.8 Se encuentra presente en voltajes elevados (Aproximadamente por encima de los 30 kv/cm en aire).

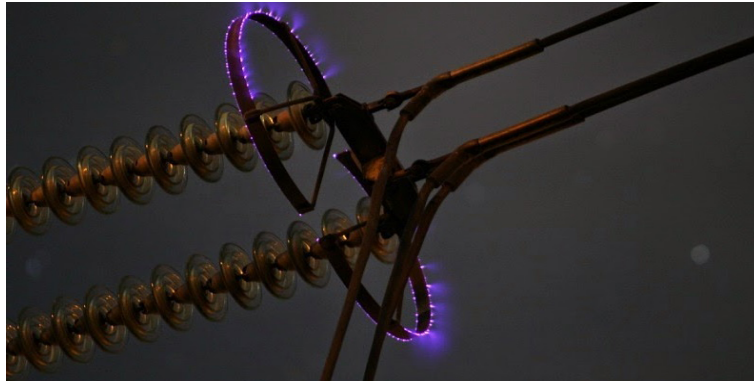


Figura 1.8 El efecto corona en las líneas de transmisión

Cuando el efecto Corona se produce espontáneamente o de manera incontrolada los gases producidos resultan peligrosos, ya que son altamente corrosivos lo cual los hace particularmente dañinos para las líneas de transporte de energía [9].

El efecto corona es representado en la figura 1.9, donde la generación de ozono mediante el efecto corona consta de dos etapas muy sencillas:

- 1.- Se genera una descarga eléctrica de alto voltaje y elevada frecuencia sobre dos electrodos.
- 2.- Dicha descarga se aplica sobre el oxígeno existente en el aire.

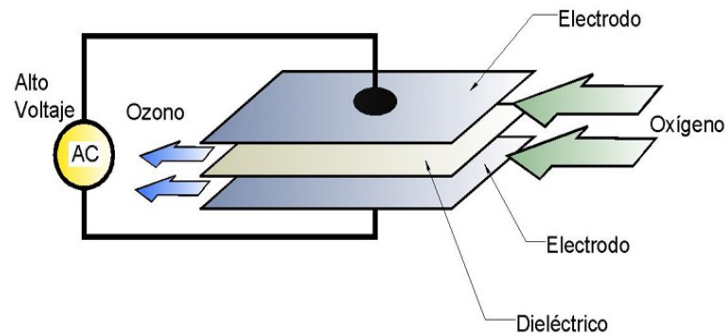


Figura 1.9 Esquema del efecto corona.

### 1.2.2.3 Hidrolisis

La hidrólisis es una reacción química en donde una molécula de agua se rompe en unos o más enlaces químicos, y los átomos libres se reorganizan para formar una molécula de ozono.

Esta se produce cuando, en una cámara de reacción, una corriente eléctrica es dirigida desde un cátodo (+) hacia un ánodo (-), en donde el agua se comporta como un conductor eléctrico. Con ello, se producen varios iones de gran poder de oxidación, como son el ozono ( $O_3$ ), el hidroxilo ( $OH^-$ ), el oxígeno monoatómico ( $O_1$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). En la figura 1.10 se observa la generación de ozono por hidrolisis [8].

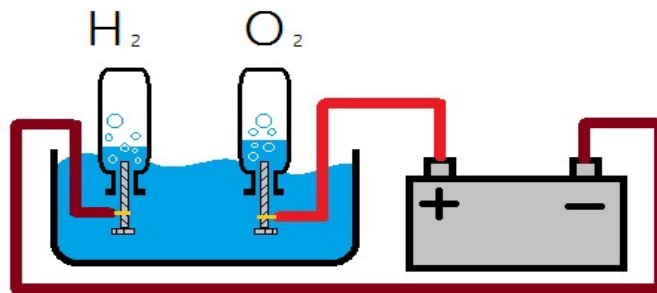


Figura 1.10 Esquema de la generación por hidrolisis.

### 1.2.2.4 Plasma frio

El oxígeno puro en estado gaseoso es sometido a un plasma generado por la descarga de barrera dieléctrica, que es creado por descargas no térmicas que tienen lugar entre dos electrodos metálicos al colocarse entre ellos una o más capas aislantes de material dieléctrico con el objetivo de evitar el arco eléctrico. El oxígeno diatómico se divide en átomos individuales, que luego se recombinan en tripletes para formar ozono.

Las máquinas de plasma frío utilizan oxígeno puro como fuente de entrada y producen una concentración máxima de aproximadamente 5% de eficiencia en la producción de ozono. Producen cantidades mucho mayores de ozono en un espacio de tiempo dado en comparación con los otros métodos de producción [10].

### 1.3 Aplicaciones del ozono

El ozono puede ser usado como purificador por sus propiedades desinfectantes. Mayormente, el ozono es aplicado en las plantas de tratamiento de aguas residuales y de agua potable para su desinfección. Por otro lado, el ozono se usa cada vez más en la rama industrial. El principal beneficio del ozono es su carácter de limpieza, porque sólo oxida materiales, casi sin formar subproductos. Al ser el ozono un oxidante muy potente, presenta gran variedad de reacción con compuestos orgánico e inorgánicos, gracias a sus propiedades los hace útil dentro de las áreas tales como la ambiental, alimenticia, farmacéutica, textil, medica, entre otras.

Debido a que el ozono tiene un fuerte olor reconocible, es percibido a pesar de estar en concentraciones bajas. Esto hace que trabajar con ozono sea generalmente seguro [11].

Las áreas donde comúnmente es utilizado son:

- Industria Alimenticia y Farmacéutica, el ozono se utiliza para:
  - Esterilización de equipos, preparación de productos farmacéuticos, lubricantes sintéticos y compuestos orgánicos.
  - Tratamientos de efluentes<sup>6</sup> en la industria de alimentos.
  - Agente desinfectante de alimentos en cámaras frigoríficas.
  - Eliminar microorganismos en flujos de agua y aire.
  
- Industria Química, el ozono se utiliza para:
  - Agente oxidante en la industria de química.
  - Ayudar en el procesamiento de plásticos para permitir la adhesión de las tintas.
  - Desintoxicar residuos de cianuro (De extracción de oro y plata, entre otros) por oxidación de cianuro a cianato y finalmente en dióxido de carbono.
  - Secado de barnices y tintas de impresión.
  
- Industria Otros, el ozono se utiliza para:
  - Agente desinfectante de agua potable y aire.
  - El ozono es un reactivo en reacciones orgánicas en el laboratorio.
  - Deodorización<sup>7</sup> de plumas, aire y gases residuales.



### 1.3.1 Ozono como desinfectante

El uso de ozono en agua es completamente seguro y su uso está regulado mediante la norma (NOM-180-SSA1-1998), siendo su aplicación habitual en la potabilización del agua.

En la figura 1.11 se representa una imagen alusiva del ozono utilizado como un desinfectante muy eficiente que ha sido utilizado en la lucha contra el COVID.



Figura 1.11 Imagen alusiva de desinfección de gérmenes utilizando el ozono.

El uso del ozono en aire, a pesar de estar clasificado como “Irritante” por inhalación, para la descontaminación ambiental es seguro. Esto se debe al control de los niveles residuales de ozono en el aire respirable, esto permite su uso como un desinfectante altamente eficaz sin efectos indeseados en las personas. Esto evita en gran medida el riesgo de contagios por patógenos en el ambiente y mejorando la calidad del aire, no sólo en cuanto a niveles microbiológicos, sino también en cuanto a olores desagradables, proporcionando un aire sano, limpio y fresco [12].

## 1.4 Conclusiones

En este capítulo se revisa la bibliografía que comprende el estudio del ozono, propiedades principales, métodos de su obtención, y aplicaciones donde es usado comúnmente.

El ozono ( $O_3$ ) es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno (O) con carga negativa, en su estado natural se encuentra en estado gaseoso. Esta molécula posee la capacidad de oxidación con casi todos los metales de la tabla periódica, lo que hace versátil su uso y aplicación.

En cuanto a la obtención de ozono, unos de los métodos más populares para su adquisición, es por medio del efecto corona. Mediante el efecto corona el ozono se produce al aplicar un voltaje elevado a través de dos terminales conductoras, generando una descarga eléctrica que ionizan las moléculas en el aire y como resultado, produce gases como el ozono ( $O_3$ ) y monóxido de nitrógeno (NO).

El ozono se encuentra en constante uso en aplicaciones del día a día, como lo ha sido para evitar en gran medida el riesgo de contagios por patógenos en el ambiente, como nos ha sorprendido la actual pandemia que vivimos por el Covid-19.

## **CAPITULO II – Laboratorio de microelectrónica en aplicación con ozono**

El uso del ozono como tratamiento de superficies se ha vuelto un proceso versátil, el cual se ha aplicado en la microelectrónica. A esto se refiere que puede ser aplicado durante el proceso de fabricación de dispositivos electrónicos para diferentes tecnologías en desarrollo. Principalmente aplicado a los materiales para proporcionar tratamiento a la superficie y limpieza, el ozono se puede usar para una amplia variedad de aplicaciones como lo puede ser:

- Tratamiento de superficies
- Limpieza de superficies
- Eliminación de monocapa en la superficie
- Oxidación de superficies
- Micropatterning<sup>8</sup>

Dentro de los materiales y sustratos ocupados en el tratamiento con ozono en la microelectrónica podemos encontrar normalmente:

- Cuarzo / vidrio
- Silicio / Óxidos de Silicio
- Metales (oro, plata, acero, entre otros)
- Conductores transparentes (ITO, IZO, AZO)
- Óxidos metálicos amorfos (óxido de hafnio, compuestos binarios o terciarios entre otros)

El tratamiento de la superficie de materiales con ozono puede mejorar las características eléctricas de los mismos y de su utilización en los dispositivos. Con el paso del tiempo las superficies de los materiales o sustratos pueden entrar en contacto con contaminantes presentes en el área de trabajo causando una degradación de sus características y propiedades eléctricas por lo que someterlas al tratamiento con ozono puede reducir el

deterioro causado por contaminantes sobre ellas [13]. La siguiente figura 2.1 ilustra un sustrato de silicio el cual es el más comúnmente utilizado [14].



Figura 2.1 Sustrato de silicio

## 2.1 Laboratorio de microelectrónica en la SEES

Durante el desarrollo del servicio social en la Sección de Electrónica del Estado Sólido (SEES) en el Cinvestav, conocimos el laboratorio de polímeros en donde se realiza parte del proceso de fabricación de transistores de película delgada (TFTs). Estos son fabricados en la SEES, incluyen la utilización de óxidos metálicos amorfos como material semiconductor y dieléctricos de alta constante dieléctrica, ocupado como material dieléctrico de compuerta. En este laboratorio se realiza la limpieza de sustratos, tratamiento de la superficie de los materiales y ataque de materiales. Dentro de este se observaron procedimientos de los cuales nos fue de interés la limpieza y tratamiento de superficies para el desarrollo del tema de la tesis.

### 2.1.1 Laboratorio de Polímeros

En laboratorio de polímeros nombrado de esta forma por la utilización de materiales orgánicos en la fabricación de dispositivos electrónicos. Se realiza la limpieza de sustratos como vidrio, silicio o polímeros; depósito de materiales en solución, ataque de materiales y tratamientos a la superficie de los materiales.

En la figura 2.2 se muestra una fotografía del laboratorio de polímeros, donde destacan diferentes equipos profesionales, como lo son la cabina de flujo laminar para la manipulación

de sustratos, cajas de guantes para la fabricación de dispositivos electrónicos orgánicos y la campana de extracción.

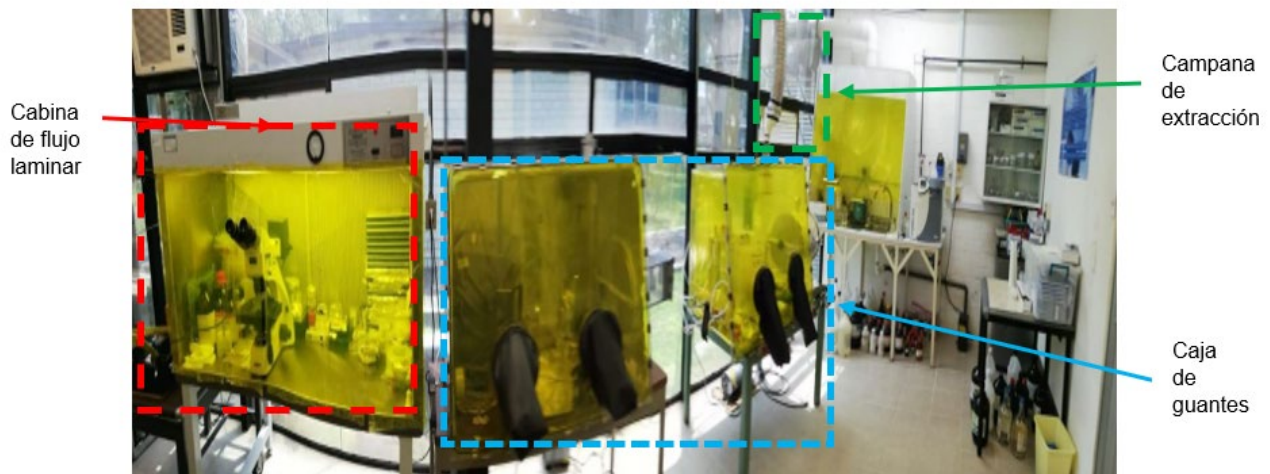


Figura 2.2 Laboratorio de polímeros de la SEES

En el laboratorio de polímeros se realiza tratamiento térmico en diferentes etapas de fabricación de los TFTs en ambiente de oxígeno a temperaturas no superiores a los 200 °C. Los tratamientos térmicos realizados tienen un impacto en la mejora de las interfaces con el semiconductor, y la posible mejora de la calidad de cada una de las películas, con la reducción de sus defectos.

Se plantea el uso de ozono como complemento al tratamiento de la superficie durante la fabricación de los dispositivos TFTs, el cual puede mejorar principalmente la interfaz con los materiales en cuestión y las características finales de los dispositivos.

## 2.2 El ozono y el tratamiento de superficies

En la fabricación de dispositivos TFTs se requiere típicamente un tratamiento durante o al final de la fabricación del dispositivo, afectando las características de cada uno de los materiales que conforman la estructura. Esto podría mejorar las propiedades eléctricas de los materiales las cuales son determinadas por su microestructura, estequiometría<sup>9</sup>, y defectos. Particularmente los TFTs basados en óxidos metálicos amorfos y dieléctricos amorfos de alta constante dieléctrica tienen mejor rendimiento eléctrico que los TFTs de

silicio amorfo, como lo ha sido en su alta movilidad, buena uniformidad, reproducibilidad en aplicaciones a gran escala, tolerancia a la temperatura, radiación y bajos costos de fabricación. En la figura 2.3 se muestra la estructura TFT basados en óxidos metálicos [15].

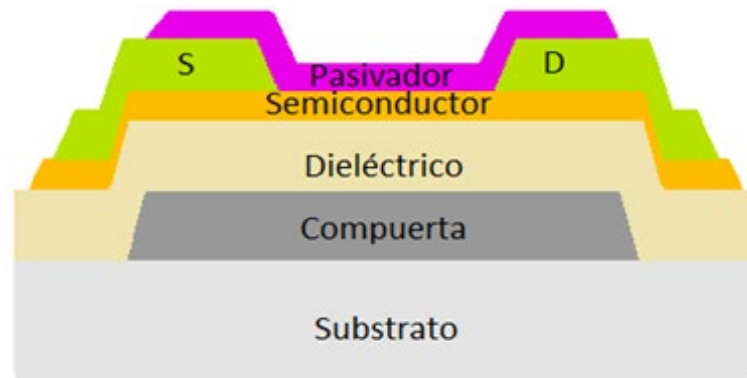


Figura 2.3 Ilustración de un TFT

Los óxidos metálicos amorfos y dieléctricos amorfos de alta constante dieléctrica pueden ser obtenidos mediante diferentes métodos, los cuales pueden ser depósito a vapor químico, depósito de laser pulsado, depósito a sol-gel, depósito por pulverización catódica (Sputtering<sup>10</sup>) de radio frecuencia (RF) entre otros. Este depósito de RF a temperatura ambiente (RT) es el método ocupado para depositar todas las películas de los materiales durante el proceso de fabricación de AOSTFTs en el laboratorio de microelectrónica de la SEES, que incluye los metales de contacto, semiconductor y dieléctrico de compuerta. Debido a que las capas pueden ser depositadas a temperatura ambiente, permitiendo el uso de sustratos alternativos; existe una gran uniformidad de los materiales depositados logrando que sus propiedades eléctricas sean uniformes en todo el sustrato; además de tener bajo costo de depósito en comparación con otros métodos.

Las películas de los materiales al ser amorfas muestran impurezas nativas como lo pueden ser intersticiales<sup>11</sup>, los cuales puede ser un exceso de átomos de la molécula del semiconductor; o vacancias de oxígeno, que podría ser la pérdida de átomos que conforman al semiconductor, esto es debido a los átomos desplazados o faltantes del material, y así como trazas de elementos de impurezas involuntarios. Como consecuencia, hay diferentes estudios con el esfuerzo de encontrar un camino que module las propiedades de las películas posteriores a su depósito, como lo puede ser el tratamiento en plasma,

tratamientos térmicos oxidación foto-asistida, irradiación por rayo de electrones, tratamiento en ozono, entre otros tratamientos físicos y químicos.

De los métodos antes mencionados, se caracterizan por ser de alto costo y tener la posibilidad de dañar sustratos flexibles y transparentes para aplicaciones con tecnologías alternativas en vías de investigación. El tratamiento en ozono se puede caracterizar por ser simple, de bajo costo, de baja temperatura y como un camino efectivo para ajustar las propiedades eléctricas de los materiales. En varios trabajos se reporta que el tratamiento en ozono-ultravioleta (UV) incrementa la concentración de oxígeno en la superficie e incrementa la función de trabajo de las películas que conforman la estructura metal-óxido-semiconductor, lo cual remueve impurezas indeseables y reduce las vacancias de oxígeno en la superficie de la película. Además, la temperatura requerida para el tratamiento en ozono-UV se encuentra por debajo de los 100 °C, lo cual reduce la posibilidad de deteriorar los sustratos flexibles y transparentes para aplicaciones alternativas. Dentro de los trabajos reportados, se encuentra que la rugosidad y vacancias de oxígeno son reducidas después de un tratamiento en ozono-UV, mejorando las características eléctricas de los TFTs basados en óxidos semiconductores amorfos [16]. En la figura 2.4 se ilustra un sustrato sometido por lámpara de UV de mercurio a baja presión.

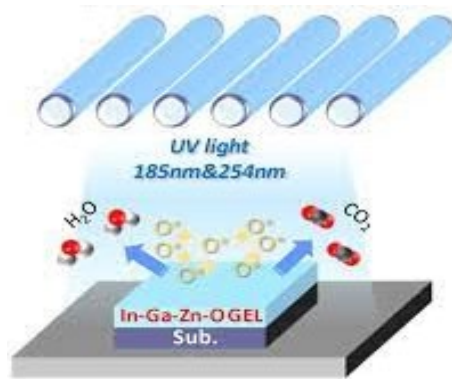


Figura 2.4 Ilustración de un sustrato sometido por lámpara de UV.

Dentro del tratamiento en ozono y de los métodos para la obtención del ozono, se encuentra la generación del ozono mediante descargas eléctricas (Efecto corona), en donde no se ha encontrado reportes de aplicación y estudio durante la fabricación de TFTs basados en óxidos semiconductores amorfos y dieléctricos amorfos de alta constante dieléctrica.

En particular, los post tratamientos son muy críticos, ya que puede mejorar o, en algunos casos, degradar las características eléctricas de los dispositivos debido a un cambio en las propiedades químicas y físicas de las películas de los materiales que integran la estructura del transistor, viéndose afectado principalmente en las interfaces. Por lo tanto, es de interés realizar un estudio inicial sobre la influencia del tratamiento posterior en ozono de las películas delgadas que conforman al TFT.

## **2.3 El ozono y la limpieza de superficies**

Como ya se mencionó el ozono puede ser utilizado como limpieza de superficies. Para ello podemos agregar que un contaminante es una sustancia o energía introducida en el medio ambiente que tiene efectos no deseados o que afecta negativamente a la utilidad de un recurso. Existen tres formas en la que los contaminantes pueden llegar a una muestra y provocar deterioro y/o mal funcionamiento en los dispositivos electrónicos. En la primera, los contaminantes son transportados por el aire; en la segunda son transferidos entre dos materiales en contacto; y en la tercera, son intrínsecos, es decir ya existen como parte del material que compone la muestra o se forman durante reacciones químicas sobre o dentro de éste, y se denominan contaminantes secundarios.

Cabe destacar la utilización del ozono-UV en el proceso de limpieza de sustratos, que es integrado con la combinación de métodos físicos y químicos, dando como resultado sustratos para ser utilizados en la fabricación de dispositivos electrónicos. Es de interés realizar el inicio del estudio de la limpieza de sustratos mediante ozono generado por descargas eléctricas.

En los subcapítulos siguientes se menciona el procedimiento de limpieza que se realiza a los sustratos que se ocupan para la fabricación de TFTs en el laboratorio de la SEES, así como de las medidas de control que son ocupadas para reducir los contaminantes en el laboratorio.



### 2.3.1 Limpieza RCA en la SEES

En el laboratorio de microelectrónica se ocupa el proceso de limpieza de sustratos del tipo RCA. La limpieza RCA es un conjunto estándar de pasos para limpieza de la superficie del sustrato, el cual se realiza antes de su procesamiento. Este tipo de limpieza surge de sustratos que se han utilizado en la fabricación de semiconductores durante décadas. Desarrollada por Kern y Puotinen en 1965, los cuales son tratamientos de superficie multipropósito. Originalmente con el propósito efectivo tanto en el control de la contaminación orgánica como en la metálica, se consideran inocuos (no dañino) para las superficies a base de silicio. Las mezclas de agua, peróxido de hidrógeno e hidróxido de amonio (para la solución SC1) o ácido clorhídrico (para la solución SC2) se mezclaron en una proporción de 5:1:1 y 6:1:1 respectivamente y son utilizadas a temperaturas de 70 °C.

Llega a ser un proceso muy tardado al contar con varias etapas siendo un aproximado de 1h 15 min, a su vez es un proceso que conlleva cierto riesgo ya que se emplean sustancias potencialmente peligrosas si ocurre algún accidente en su manejo. El proceso llega a ser muy costoso durante su uso en la fabricación de dispositivos electrónicos y en los laboratorios de microelectrónica [13].

En la tabla 2.1 se muestra los pasos del proceso de limpieza del sustrato ocupado normalmente en el laboratorio, la cual es una oblea de Si de alta conductividad tipo N.

Proceso	Objetivo
1. Tricloroetileno 15 min;	Eliminar residuos orgánicos
2. Acetona 15 min;	Eliminar residuos orgánicos
3. $\text{SO}_4\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$ 80 °C 15 min;	Eliminar residuos orgánicos e iónicos
4. FH (puro o diluido);	Eliminar el óxido nativo
5. $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$ ;	Eliminar residuos iónicos y crear una pequeña película de óxido formado durante la limpieza.
6. $\text{ClH} + \text{H}_2\text{O}_2$	Eliminar residuos iónicos y sustituir el óxido nativo, por una pequeña película de óxido formado durante la limpieza.

Tabla 2.1 Pasos del proceso de limpieza del sustrato y objetivos de estos

Durante la fabricación de dispositivos microelectrónicos se lleva la utilización del proceso de limpieza RCA que puede ser de alto costo, además de ser el ampliamente utilizado por el laboratorio de microelectrónica de la SEES. Realizar los procesos de limpieza RCA múltiples veces lleva a la utilización de un alto consumo de recursos en el laboratorio [17]. En la tabla 6.2 se muestra las sustancias utilizadas en el proceso RCA y su correspondiente precio.

Sustancia	Cantidad	Costo (€)
<b>C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub> (Tricloroetileno)</b>	1 litro	51.80
<b>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O (Acetona)</b>	1 litro	22.60
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Peróxido de hidrógeno)</b>	500 mililitros	16.47
<b>FH (ácido fluorhídrico)</b>	2.5 kilos	98.45
<b>NH<sub>4</sub>OH (hidróxido de amonio)</b>	1 litro	43.80
<b>ClH (Cloruro de hidrógeno)</b>	100 mililitros	65.00
<b>SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> (Ácido sulfúrico)</b>	1 litro	38.28

Tabla 2.2 Tabla de sustancias del proceso RCA

Debido a que el tiempo de vida de las sustancias una vez abiertas comprende un periodo de tiempo de 6 a 12 meses o que su consumo sea mayor y deban de ser adquiridas frecuentemente, esto conlleva a un gasto adicional para el laboratorio.

Por otro lado, al ser un proceso que ocupa diferentes compuestos químicos, puede llegar a ser dañino al medio ambiente por su acumulación, mal manejo y desecho. En un intento de minimizar estos daños se tratan de proponer alternativas para modificar los procesos de limpieza de sustratos, y ser obtenidos a menor costo en general.

### **2.3.2 Medidas de control de contaminantes en el laboratorio**

Con el propósito de mantener limpios los laboratorios de microelectrónica en la SEES y en la mayoría de los laboratorios, existen medidas generales durante su uso, entre las que podemos mencionar:

- Batas de tela sintética que no desprenda partículas y cobertura del máximo posible del personal de laboratorio.
- Limpieza diaria del laboratorio.
- Limpieza personal, nada de cosméticos, ni cigarro.
- Eliminar papeles, cosas que guarden polvo o que lo desprendan.
- Filtros de agua, gases y fotorresina locales.
- Sistemas locales de agua deionizada.
- Los productos químicos deben manipularse solo en cuartos limpios.
- Calzado local que no entra en contacto con el exterior.

Esto con el fin de obtener dispositivos con menor cantidad de impurezas y que esto no sea un factor en el rendimiento final de los dispositivos fabricados.

## **2.4 Conclusiones**

El ozono en la microelectrónica puede ser una alternativa para el tratamiento de capas finas durante la fabricación de dispositivos electrónicos y para la limpieza de los mismos materiales en cuestión.

El tratamiento de superficie de materiales utilizando ozono puede ayudar a mejorar el funcionamiento de los dispositivos microelectrónicos. Como lo pueden ser la fabricación de TFTs basados en óxidos amorfos. Estos dispositivos son fabricados en el laboratorio de polímeros de la SEES, lugar donde fueron realizados los experimentos para comprobar el funcionamiento del dispositivo ozonizador. Este laboratorio cuenta con medidas de control para mantener limpias las instalaciones y evitar la entrada de contaminantes a las muestras.

## CAPITULO III – Principios del ozonizador

Como el ozono no puede ser almacenado ni transportado fácilmente, además de que tiende a la inestabilidad, causando que rápidamente se descomponga en oxígeno, el ozono tiene que ser producido en el lugar en donde se va a emplear. Un ozonizador, es capaz de producir ozono de forma artificial. En la figura 3.1 se presenta la primera producción de ozono en un ambiente controlado [18].

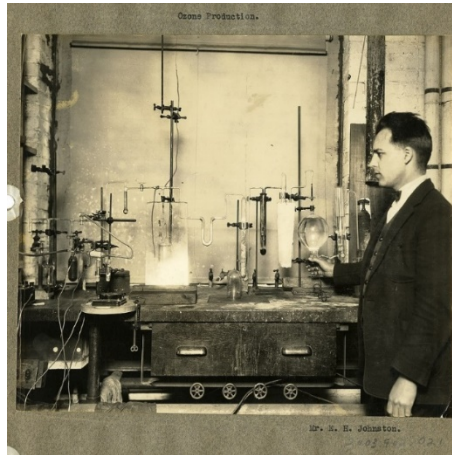


Figura 3.1. Demostración de producción de ozono, laboratorio de investigación de nitrógeno fijo, 1926

De los métodos antes mencionados, destaca la utilización del procedimiento de obtención por efecto corona. Los generadores más comunes por efecto corona, trabajan con frecuencias que van de los 600 Hz hasta 2 kHz, y con voltajes que oscilan entre los 4 kV y 20 kV. En condiciones industriales, la mayor parte de la energía se disipa en calor, que debe reducirse con un flujo de agua eficiente. Debido a la alta reactividad del ozono, sólo unos pocos materiales pueden ser usados para entrar en contacto con él; entre estos estarían el acero inoxidable 316L, aluminio, el vidrio, PVDF, EPDM, PVC.

La temperatura y la humedad juegan un papel importante en la cantidad de ozono producido. Los métodos de generación antes mencionados producirán menos del 50% de la capacidad nominal si se opera con aire ambiente húmedo, a diferencia de aire seco. Los nuevos generadores, que utilizan métodos electrolíticos, pueden lograr una mayor pureza y disolución mediante el uso de moléculas de agua como fuente de producción de ozono.

Con los avances tecnológicos, actualmente se puede trabajar a altas frecuencias y con electrónica más novedosa, se pasó de utilizar grandes transformadores de baja frecuencia, a fabricar generadores de ozono de menor tamaño, menor consumo energético y muy baja disipación de calor (inferior a 60 °C), siendo innecesario la refrigeración por agua de equipos con producciones incluso superiores a las generadores industriales y con un precio más económico tanto en la manufactura como para el consumidor [19].

### 3.1 Características de un dispositivo ozonizador

Los ozonizadores existentes en el mercado son variados y se clasifican de distinta manera, pero comparten 3 cualidades en común las cuales son:

El método de generación que posee:

Luz ultravioleta: Es el método más común de generación en ozonizadores pequeños y se caracterizan por tener un bajo grado de generación la cual puede variar dependiendo de la lámpara.

Efecto corona: Este método de generación al ser algo agresivo por manejar voltajes elevados (alrededor de 10 kv) es más visto a nivel industrial ya que posee una muy buena eficiencia en generación de ozono.

Hidrolisis y Plasma frío: estos métodos no son usados en ozonizadores comerciales ya que las condiciones son de muy elevado costo y de mucho mantenimiento.

En la figura 3.2 se ilustra la producción de un ozonizador [20]

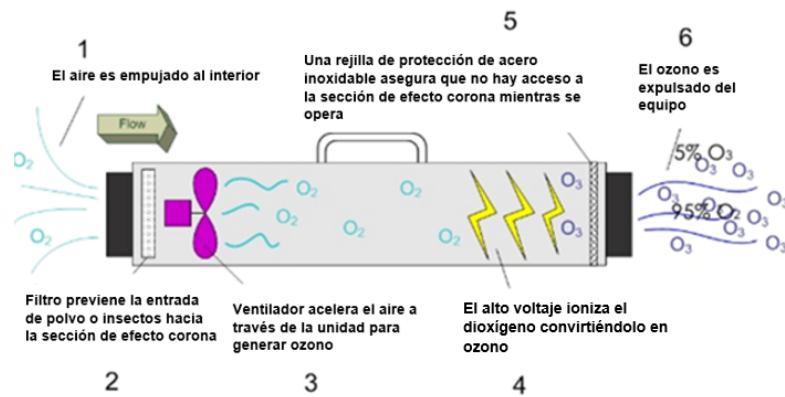


Figura 3.2 Proceso de producción de un ozonizador

El método de cuantificación que posee:

Hablar de cuantificación se refiere a que el ozonizador posee algún sistema que permite conocer la cantidad de ozono que se está generado y así tener un control más preciso en el uso que desee dársele. Estos sistemas de cuantificación funcionan a base de sensores los cuales son variados en su tecnología, pero lo que los identifica es que estos reaccionan ante la presencia del ozono y generan una señal que permite conocer las ppb generadas con el dispositivo.

Los sistemas de seguridad:

En cuanto protección, un ozonizador se caracteriza en referencia a los materiales con el que éste es fabricado, debe ser resistente ante la oxidación ocasionada por el ozono y a su vez algún sistema que permita notificar al usuario que aun esté operando o dar una señal de alarma si presenta alguna anomalía para evitar que el usuario no se exponga en medida de lo posible al ozono que se está generando.

### **3.2 Cuantificación del ozono**

El ozono se cuantifica en  $\mu\text{mol} / \text{mol}$  (ppm, partes por millón),  $\text{nmol} / \text{mol}$  (ppb, partes por billón),  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramos sobre metro cubico),  $\text{mg}/\text{h}$  (miligramos por hora) o porcentaje en peso. La comprobación de la cuantificación del ozono consta de demostrar la concentración ( $\text{mg}/\text{l}$  (miligramo sobre litro) o  $\text{g}/\text{m}^3$ ) a la que se encuentra en un gas o un líquido. El régimen de concentraciones aplicadas varía de 1% a 5% en aire y en 6 % a 14 % en oxígeno para los métodos de generación más antiguos. Los nuevos métodos electrolíticos pueden alcanzar una concentración de ozono disuelto del 20 % al 30 % en agua salada. En el caso de las lámparas UV de baja presión estas concentraciones son alrededor 0.5% utilizando aire y 1% si se utiliza oxígeno.

### **3.2.1 El origen de los sensores de gas**

En 1968 se produjeron sensores de gas basados en óxidos semiconductores (óxido de zinc y óxido de estaño) como materiales para la detección de gases inflamables, el éxito de los sensores de gas de semiconductores fomentó el desarrollo de la utilización a otros gases.

Existen estudios de las primeras publicaciones sobre dispositivos microelectrónicos para censar iones descritas por Bergveld en 1970, se trataba de un transistor de efecto de campo (FET) cuyo dieléctrico (óxido de silicio) de puerta se ponía en contacto directo con la solución acuosa. Se observó que el sensor respondía ante cambios de concentración del ion  $\text{Na}^+$  (sodio) y cambios de concentración del ion  $\text{H}^+$  (pH). A pesar de introducir estos sensores en la década de los 70 su desarrollo fue lento ya que su conocimiento implica la participación de disciplinas tan distintas como son: tecnología de fabricación microelectrónica, química y acondicionamiento electrónico de la respuesta del sensor, entre otras. Gracias a la aparición de los ISFETs, otra línea de investigación fue abierta la cual es la primera aplicación de la tecnología MOS para detectar otros iones, lo cual contribuyó a ampliar los campos de aplicación. Estos nuevos sensores se conocen como MEMFETs o CHEMFETs, su diferencia frente a los ISFETs se debe a que sobre la puerta del sensor se deposita una membrana orgánica.

La tecnología del sensor de gas se mejora continuamente con los nuevos descubrimientos en nanoestructuras, nanocompuestos, polímeros conductores y muchos otros materiales de detección [21].

Existen varios dispositivos de medición de concentración de ozono, tanto para la fase gaseosa como para la fase líquida. Algunos de estos dispositivos de medición se presentan a continuación.

### **3.2.2 Sensores de ozono**

Un sensor de ozono es un dispositivo con la función de reaccionar a la presencia de dicho gas, ya sea en aire o agua, y producir una señal en función de la concentración detectada del gas, existe una gran gama de dispositivos que cumplen la función de reaccionar al ozono



entre otros gases, estos se diferencian en el rango (en partículas por millón) que pueden percibir de la concentración de ozono, así como el fin que requiera dársele ya que puede ser de uso industrial o a menor escala, lo que se refleja en el precio final que éstos poseen en el mercado.

### 3.2.2.1 Sensores de ozono basados en análisis UV

Los analizadores de ozono UV aprovechan esta propiedad del ozono que también es generado por UV para obtener lecturas precisas y estables. Una lámpara UV que emite luz a una longitud de onda de 254 nm produce una cantidad controlada de luz dentro de una cámara sellada. Esta luz UV se mide a través de un fotodiodo que también se filtra para detectar a la longitud de onda de 254 nm.

La diferencia en la luz ultravioleta producida en un extremo de la cámara frente a la luz ultravioleta medida en el otro extremo de la cámara indica la concentración de ozono en la muestra de aire. Como se ve ilustrado en la figura 3.3

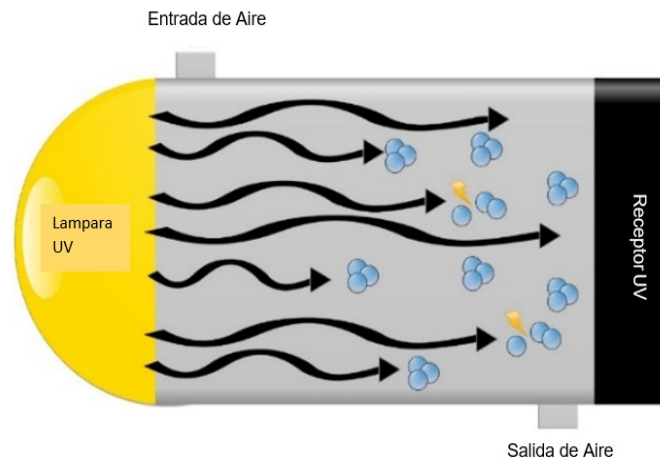


Figura 3.3 Medición de ozono por luz ultra violeta

### 3.2.2.2 Sensores electroquímicos de ozono

Un sensor de ozono electroquímico utiliza una membrana porosa que permite que el gas de ozono se difunda en una celda que contiene electrolitos<sup>12</sup> y electrodos. Cuando el ozono entra en contacto con el electrolito, se produce un cambio en el potencial electroquímico entre los electrodos que hace que los electrones fluyan.

Cuando está en condiciones de aire seco, se produce poco o ningún flujo de electrones. A medida que aumenta la presencia de ozono, la señal eléctrica aumenta proporcionalmente. El monitor interpreta esta señal y muestra la concentración de ozono en ppm. En la figura 3.4 se muestra la estructura interna de este tipo de sensores.

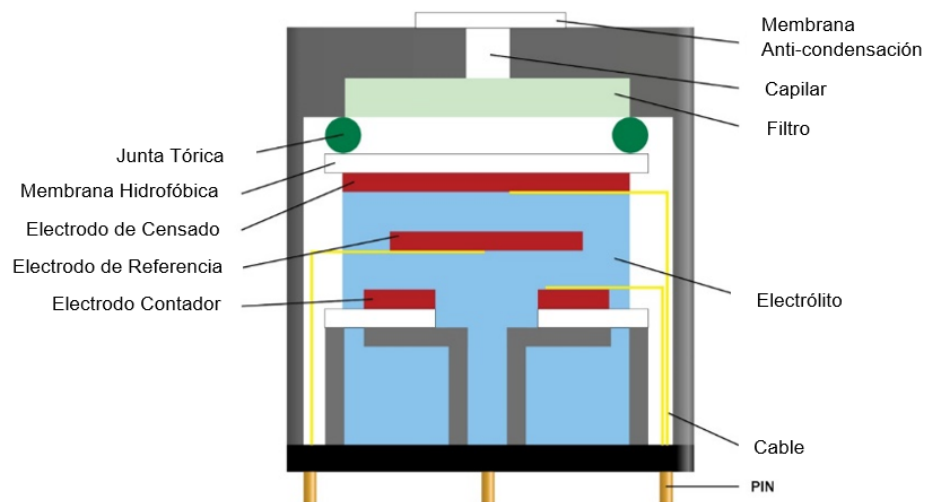


Figura 3.4 Sensor electroquímico de celda

### 3.2.2.3 Sensores de ozono basados en semiconductores

También conocidos como sensor de óxido de metal calentado (HMOS) por su estructura o semiconductor sensible al gas (GSS).

Un HMOS funciona calentando un sustrato pequeño a alta temperatura (alrededor de  $300^{\circ}\text{F} = 149^{\circ}\text{C}$ ). A esta temperatura, el sustrato es muy sensible al ozono y presenta un cambio en la resistencia que es proporcional a la cantidad de ozono que entra en contacto con su

superficie. La circuitería del monitor interpreta este cambio en la resistencia y muestra el nivel de ozono correspondiente en la pantalla como ppm o ppb.

Los sensores de gases semiconductores dependen de un gas que entra en contacto con una superficie de óxido metálico y luego sufre oxidación o reducción. La absorción o liberación del gas en el óxido metálico cambia la conductividad o la resistividad de un valor de referencia conocido. Este cambio en la conductividad o resistividad se puede medir con circuitos electrónicos. Por lo general, el cambio en la conductividad o resistividad es una relación lineal y proporcional con la concentración de gas. Por lo tanto, se puede establecer una ecuación de calibración simple entre el cambio de resistividad / conductividad y la concentración de gas [22].

La superficie de óxido de metal suele ser una película delgada de transición o metal pesado. El metal exacto que se use dependerá de la aplicación y los metales de ejemplo incluyen dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) u óxido de tungsteno ( $\text{WO}_3$ ). La película se superpone a una capa de silicio y se calienta a una temperatura entre  $200^\circ\text{C}$  y  $400^\circ\text{C}$ , nuevamente según la aplicación. De esta manera, los procesos químicos se aceleran y se minimizan los efectos de las temperaturas externas fluctuantes<sup>13</sup>. La figura 3.5 presenta la estructura común que manejan estos sensores.

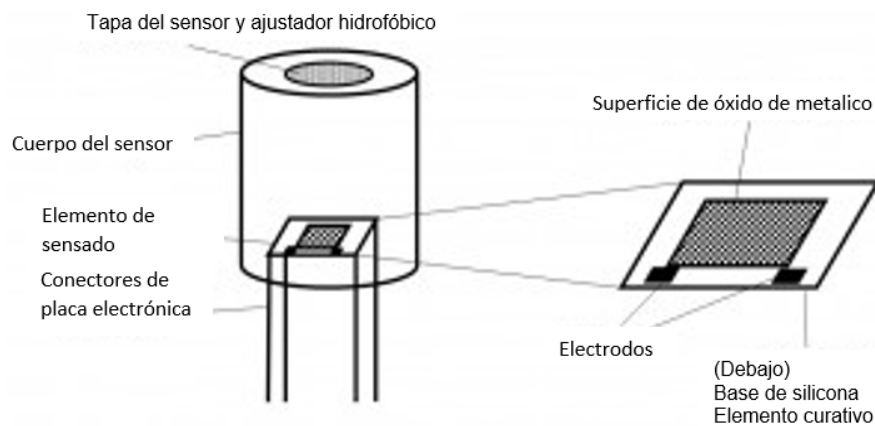


Figura 3.5 Sensor semiconductor

### 3.3 Módulo sensor de ozono MQ-131

El material sensible del sensor de gas MQ-131 es el óxido de tungsteno. Cuando existe gas de ozono, la conductividad del sensor disminuye por la concentración de gas en aumento.

El sensor de gas MQ-131 detecta concentraciones de ozono, desde 10ppb hasta 1000ppb tiene una alta sensibilidad al ozono y también tiene sensibilidad a los óxidos fuertes como  $\text{Cl}_2$  y  $\text{NO}_2$ . Responde de manera opuesta a los gases orgánicos con interferencia.

Posee un tiempo de respuesta rápido con un umbral de detección ajustable a salida TTL 5v, ideal para integrar directamente a alarmas o aplicaciones basadas en microcontroladores. Además de poseer compatibilidad con microcontroladores Arduino, Atmel AVR, microchip PIC, MC9S freescale y MSP texas instruments [23].

En a la figura 3.6 se observa un diagrama esquemático con la distribución de pines del sensor.

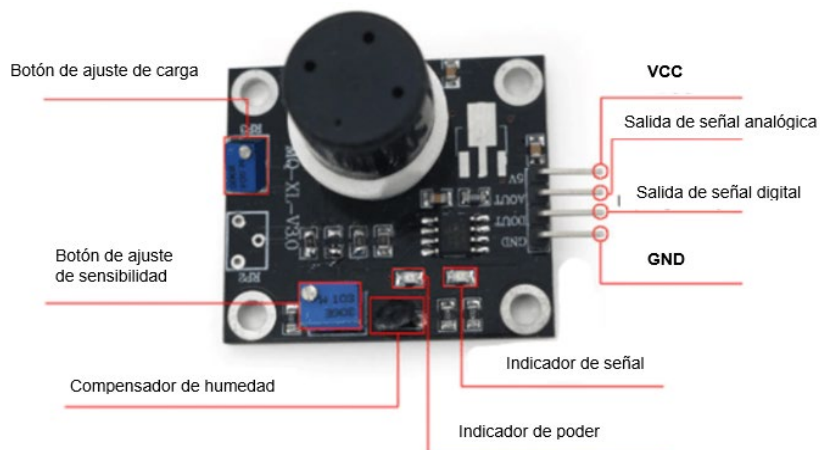


Figura 3.6 Diagrama esquemático de sensor MQ-131

La tabla 3.1 muestra los parámetros técnicos del MQ-131

Modelo		MQ-131	
Tipo de Sensor		Semiconductor	
Encapsulación estándar		Tapa de plástico	
Gas objetivo		Ozono	
Rango de detección		10~1000ppb Ozono	
Condiciones de Circuito estándar	Voltaje de bucle	Vc	≤24V DC
	Voltaje del calentador	VH	5.0V±0.1V AC o DC
	Resistencia de carga	RL	Ajustable
Características del sensor bajo prueba estándares	Resistencia al calentador	RH	34Ω±3Ω (temperatura ambiente)
	Consumo de calefactor	PH	≤900mW
	Sensibilidad	S	Rs(in 200ppb O <sub>3</sub> )/Rs(in air)≥2
	Tensión de salida	△VS	≥1.0V(en 200ppb O <sub>3</sub> )
	Pendiente de concentración	A	≤0.6(R500ppb/R100ppb O <sub>3</sub> )
Condiciones de prueba estándar	Temperatura. Humedad	20°C±2°C ; 55%±5%RH	
	Circuito de prueba estándar	Vc:5.0V±0.1V ; VH: 5.0V±0.1V	
	Tiempo de precalentamiento	Más de 48 horas	

Tabla 3.1 Parámetros técnicos MQ-131

### 3.4 Tipos de ozonizadores

En base a las necesidades de los usuarios los ozonizadores pueden variar en su forma por lo que estos se pueden clasificar en dos tipos:

#### 3.4.1 Generadores de ozono estáticos

Los generadores estáticos para tratamientos ambientales requieren únicamente de una configuración inicial para determinar la cantidad de ozono producido, el tiempo de producción o ambos parámetros en la mayoría de los casos.

La producción de ozono de estos equipos es pequeña y se realiza de forma cíclica. Funciona realizándose unos segundos de producción y posteriormente unos minutos de paro. Esto se repite continuamente en el tiempo dando como resultado una higienización y desinfección constante del ambiente de forma segura para las personas que están presentes. En la figura 3.7 observa el modelo de un generador estático.



Figura 3.7 Modelo de generador estático

### 3.4.2 Generadores de ozono portátiles

En el caso de los generadores de ozono portátiles solo es necesario conocer el tiempo que debe permanecer encendido en función del volumen a higienizar. Tienen una media o alta producción de ozono. Hay modelos con temporizador que facilitan que el aparato trabaje el tiempo oportuno.

Los generadores de ozono portátiles pueden variar en su presentación ya que pueden ser utilizados como cañones de ozono para esterilizar áreas cerradas. En la figura 3.8 se muestra el modelo de un cañón de ozono portátil.



Figura 3.8 Cañón de ozono portátil

Se debe asegurar de que mientras el generador permanezca encendido no debe haber personas, animales o plantas en la habitación que está siendo esterilizada [24].

Cuando el tiempo haya finalizado se debe esperar un tiempo prudencial de entre 15 y 20 minutos para asegurarse de que el ozono se ha volatilizado. De este modo la estancia quedará totalmente libre de ozono. Si se necesitara acelerar el proceso es posible ventilar la habitación de forma inmediata sin necesidad de esperar el tiempo antes indicado.

También existen otras presentaciones en las que se pueden encontrar estos ozonizadores en los que se incluye una manguera con la función de enfocar la salida de ozono a un área específica como se ilustra en la figura 3.9



Figura 3.9 Ozonizador portátil.

### **3.5 Tipos de generadores de ozono en el mercado**

Existen distintos tipos de generadores de ozono en el mercado estos son utilizados para múltiples actividades normalmente relacionadas con la limpieza y de igual forma sus precios varían según su utilidad. Estos se dividen en los que tiene mayor representación.

A.) Los generadores de ozono o purificadores de aire del mercado.

Presentan precios de \$2000 - \$4000. Ayudan a eliminar, bacterias, humo, malos olores, polen, polvo, moho, bacterias, pelos y otros grandes a pequeñas partículas en el ambiente. Su principal problema es que a bajas concentraciones de ozono no elimina eficazmente los contaminantes biológicos. En la Figura 3.10 se ilustra un purificador común en el mercado [25].



Figura 3.10 Generador de ozono purificador de aire

### B). Lámparas desinfectantes por UV

Sus precios varían dependiendo de los focos utilizados, el cual oscila en \$1000-\$5000 y aunque su generación es menor que la competencia, su tiempo de uso puede ser constante en largos periodos. La esterilización ultravioleta puede matar bacterias, virus, alérgenos y mohos de manera más efectiva. Posen material de alta calidad, el tubo de vidrio es de alta vida útil (hasta 8000 horas). En la figura 3.11 se muestra una lampara de desinfección purificadora de aire por medio de una lampara UV generadora de ozono [26].

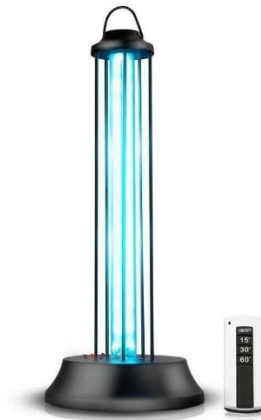


Figura 3.11 Lampara UV de desinfección purificador de aire



### C). Cámaras de limpieza de sustratos

Normalmente son empleados en laboratorios y fábricas, sus precios son muy elevados oscilan entre los \$30000-\$75000 además de presentar un alto consumo de potencia, poseen etapas de muestreo donde se puede calentar hasta 150 °C con un controlador de temperatura de precisión, además de poder limpiar todo tipo de sustratos de un solo óxido como cristal de zafiro, STO y LAO.

Posee la capacidad de limpiar obleas de silicona, limpia de oblea de arsénico galio, cuarzo e ITO vidrio. Al igual presenta 2 métodos de generación de ozono por UV y efecto corona por lo que se mezclan sus valores para obtener mejores resultados. En la figura 3.12 se muestra una cámara de limpieza para varios tipos de sustratos [27].



Figura 3.12 Cámara UV de ozono con sustrato calentador para la limpieza de todo tipo de sustratos.

### **3.6 Conclusiones**

Este capítulo se enfoca en los ozonizadores y las variantes que se encuentran en el mercado, además de sus características, de las que pueden mencionarse: el método de generación, cuantificación y sus sistemas de seguridad.

Las tecnologías de sensores de gas derivan en tecnologías basadas en electroquímica o en semiconductores de los cuales estos últimos han presentado mayor desarrollo. Los sensores de gases basados en semiconductores funcionan al entrar en contacto con un gas el cual genera un cambio en su conductividad y/o resistividad el cual se puede medir con ayuda de un circuito electrónico.

El sensor MQ-131 fue seleccionado por su alta sensibilidad y su compatibilidad con la tecnología TTL, la cual es útil para aplicaciones basadas en microcontroladores.

# CAPITULO IV – Diseño y elaboración del dispositivo ozonizador

La elaboración del dispositivo ozonizador comprendió las siguientes etapas: Recopilación de datos sobre ozonizadores y diseño de estos para comprender mejor su funcionamiento lo cual nos ayudaría para poder diseñar el dispositivo ozonizador, uso de componentes eléctricos y electrónicos como la estructura principal del proyecto. Por último, se llevó a cabo la elaboración del dispositivo ozonizador.

## 4.1 Diagrama de flujo para comprender el funcionamiento

Para comprender el funcionamiento y etapas que se deseaba que comprendiera el proyecto se desarrolló un diagrama de flujo para el dispositivo ozonizador como se muestra en la figura 4.1

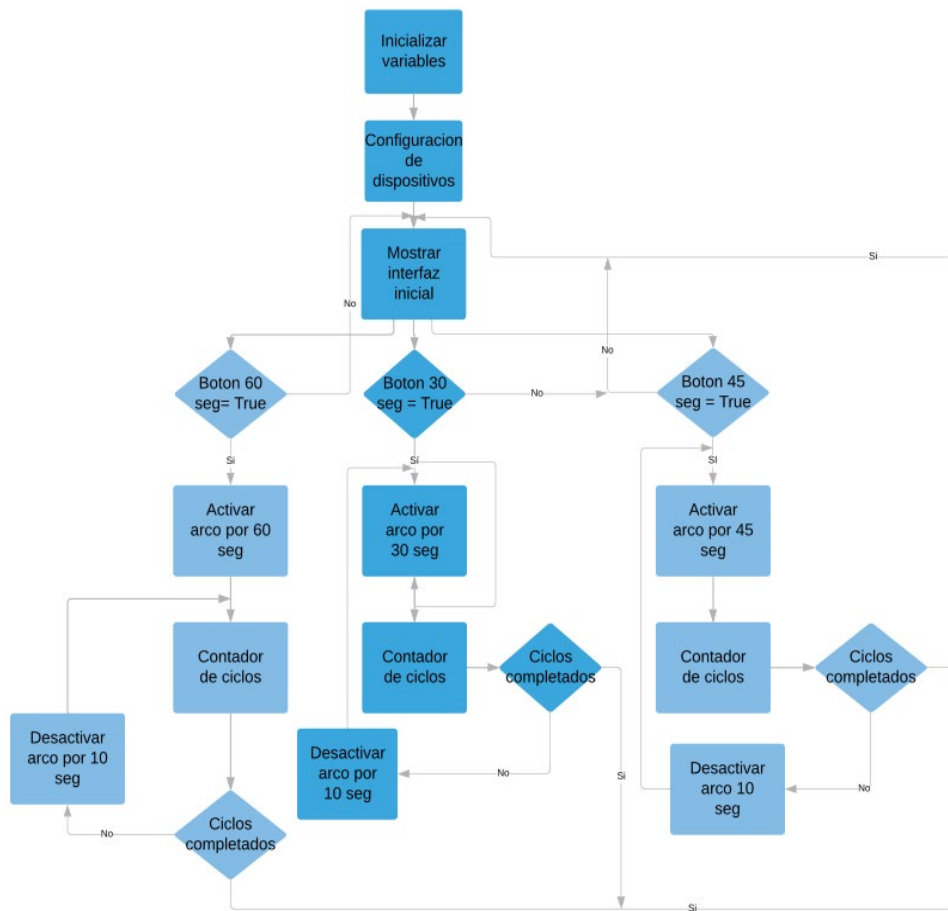


Figura 4.1 Diagrama de flujo del código

En base a éste, se desarrolló el código de programación para el panel de control del dispositivo ozonizador el cual puede consultarse en la sección de anexos al final de la tesis.

## **4.2 Diseño del Proyecto.**

Para el desarrollo del proyecto se buscó un diseño con materiales en el mercado de un rango económicamente accesible, pero a su vez eficiente, al ser necesario un voltaje elevado para la generación de ozono, se encontró que el transformador tipo flyback sería de utilidad, aunque no era muy conocido en el mercado a pesar de que era un componente importante en los televisores antiguos lo que dificultó su adquisición, también se buscó que los materiales fueran lo suficientemente resistentes y ligeros para su uso y transporte dentro del laboratorio por lo que se consideró al acrílico por sus características al soportar la oxidación a la que es sometida al exponerse al ozono, así como el aluminio el cual se consideró de la misma manera para las placas.

Otro factor importante era el comprobar que existía generación de ozono con el proyecto con lo que se optó por la adquisición de un sensor, lo que requirió importarlo desde China. Posteriormente diseñar y elaborar componentes físicos que no podían conseguirse en el mercado los cuales fueron las placas de aluminio los tubos de entrada, extracción, la puerta y por último el ensamble final de todos los componentes.

En la parte de anexos fue incluida una tabla de costos de todos los componentes utilizados.

### **4.2.1 Diagrama Eléctrico**

Se desarrolló un diagrama electrónico de los componentes eléctricos y electrónicos que posee el dispositivo ozonizador con la ayuda del programa de simulación de circuitos eléctricos "Proteus" con el propósito de tener una referencia esquemática del proyecto, como se ilustra en la figura 4.2

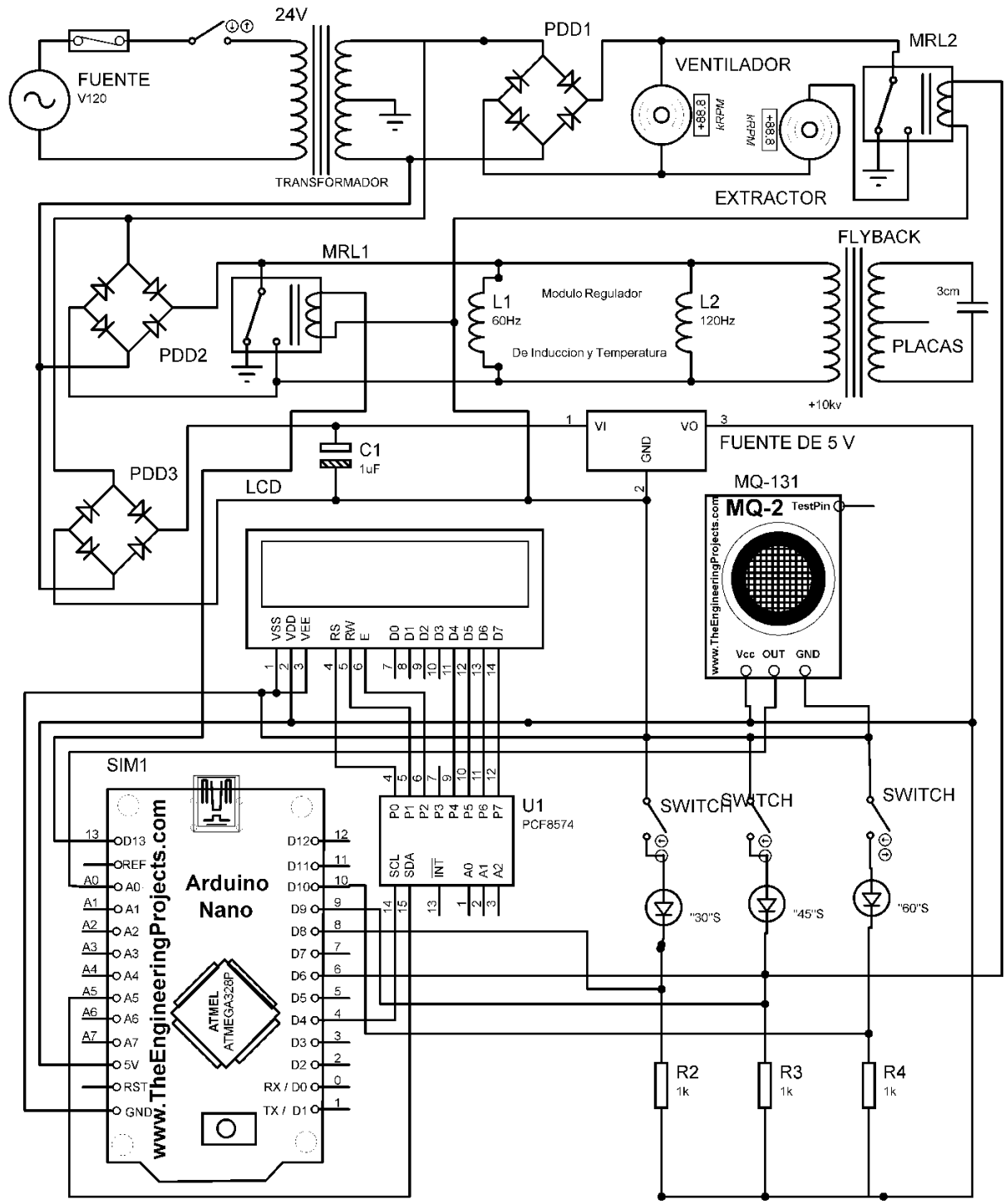


Figura 4.2 Diagrama electrónico del proyecto

## 4.2.2 Diseño 3D de la carcasa del dispositivo ozonizador

Se estimaron las medidas que contendría el proyecto, se modelaron los cortes que tendrían las placas de acrílico que serían empleadas para la construcción de la carcasa del proyecto y se diseñó un diagrama 3D con el objetivo de plasmar la estructura del ozonizador como se muestra en la figura 4.3

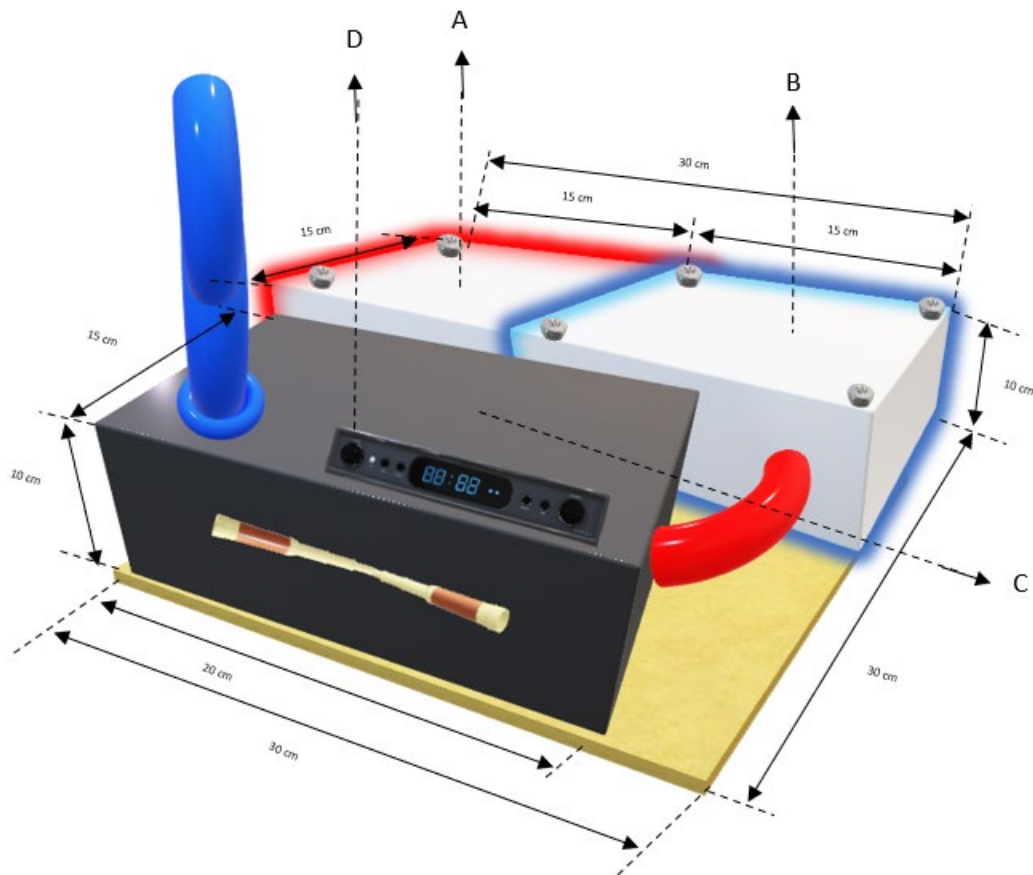


Figura 4.3 Modelo 3D de la carcasa

- A. Sección de acondicionamiento para la alimentación y voltaje del arco eléctrico.
- B. Sección de generación de ozono por efecto corona.
- C. Sección de tratamiento de los sustratos
- D. Panel de control

### 4.2.2.1 A.- Sección de acondicionamiento para la alimentación y voltaje del arco eléctrico

El dispositivo ozonizador consta de una variedad de componentes eléctricos y electrónicos con el propósito de generar y controlar un arco eléctrico capaz de ionizar las partículas de oxígeno, permitiendo la generación del ozono.

#### 4.2.2.1.1 Fuente de poder 24V a 1A

El propósito de este transformador es el de alimentar a todos los demás componentes eléctricos y electrónicos, se integró un puente de diodos para adaptar la señal de entrada ya que todos los componentes funcionan con CD. Además, se integró un switch de encendido y apagado con su respectivo fusible para proteger el sistema.

Fuente de poder a 120 VCA de entrada, 24 VCA y 1 A de salida. Cuenta con derivación tap central que permite reducir el voltaje a la mitad en caso de ser necesario. Los transformadores son dispositivos usados en circuitos eléctricos para cambiar el voltaje de la electricidad que fluye en el circuito. Estos se pueden utilizar para aumentar (intensificador) o disminuir (reductor) el voltaje. Los transformadores sólo trabajan con circuitos de CA. Los transformadores son dispositivos pasivos (no agregan energía). De éste sale alto voltaje y baja intensidad de corriente, llevando casi la misma cantidad de energía a lo largo de las líneas de transmisión que llevaban el bajo voltaje y la corriente de mayor intensidad inicial. En la figura 4.4 se muestra el modelo de el transformador reductor.



Figura 4.4 Transformador reductor 24V a 1A

En la Tabla 4.1 se enlistan los parámetros básicos de un transformador.

<b>Entrada de voltaje</b>	<b>120 VCA</b>
<b>Salida de voltaje</b>	<b>24 VCA</b>
<b>Salida de voltaje con tap central:</b>	<b>12 VCA</b>
<b>Salida de corriente</b>	<b>1 A</b>
<b>Tipo de corriente de salida</b>	<b>Corriente alterna</b>
<b>Material base</b>	<b>Aluminio reforzado</b>
<b>Número de cables</b>	<b>5</b>
<b>Temperatura</b>	<b>40 °C de temperatura ambiente (T40/B)</b>
<b>Tolerancia tensiones</b>	<b>Secundarias ±5% ±5%</b>

Tabla 4.1 Parámetros de funcionamiento del transformador

#### **4.2.2.1.2 Transformador Flyback**

Debido a que para poder producir un arco eléctrico que sea capaz de ionizar las partículas de oxígeno en el aire, se requiere de un voltaje alrededor de los 10 kv, se seleccionó este tipo de transformador ya que su función principal es elevar el voltaje. La salida es conectada a las placas de aluminio dedicadas a generar el arco eléctrico.

El transformador Flyback es un tipo especial de transformador eléctrico. Inicialmente fue diseñado para generar señales de dientes de sierra de alto voltaje a una frecuencia relativamente alta. Comúnmente utilizado en televisores de caja como una parte importante para generar la imagen. En aplicaciones modernas, se usa ampliamente para la alimentación de fuentes de baja (3v) y alta tensión (más de 10 kv).

Es un transformador rectificador que convierte los pulsos de alto voltaje en corriente continua que luego el condensador formado en el TRC, filtra o aplana. El Alto Voltaje puede desarrollarse directamente en un solo embobinado con muchas espiras de alambre, o un bobinado que genera un voltaje más bajo y un multiplicador de voltaje de diodo-condensador.

Debido a las propiedades de los materiales del núcleo, los flyback operan convenientemente en el rango de  $10^3$  a  $10^6$  Hz, mientras que los transformadores comunes tienen un rango mucho más ancho, hasta  $10^{12}$  Hz.



Los flybacks consisten en un conjunto de bobinados con un núcleo de ferrita. También puede contener diodos de alto voltaje y divisores de resistencias (a menudo con potenciómetros de ajuste) para el foco y el screen (G2).

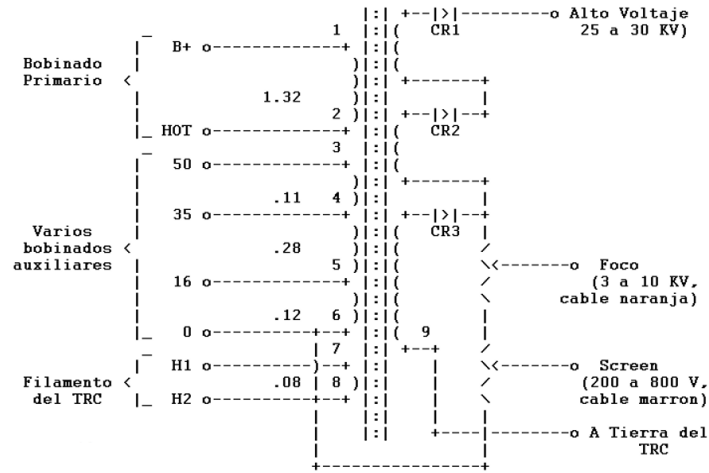


Figura 4.5 Composición interna de un flyback.

Un flyback de estructura común como en la figura 4.5 incluye los componentes siguientes:

- Bobinado primario: un promedio de cien vueltas de alambre (.4mm).
- Bobinado de Alto Voltaje: varios miles de vueltas. Este bobinado puede dividirse en varias secciones con rectificadores de alto voltaje en serie con cada una o puede ser un solo bobinado. Una alternativa es un enrollado que proporcione un voltaje más bajo y que use un multiplicador de voltaje (escalera diodo-condensador) para alcanzar lo requerido por el TRC. Se usa alambre muy fino (0.08mm). Lo primordial es alcanzar el alto voltaje necesario para alimentar el TRC con rectificador o multiplicador.
- Divisor resistivo para el enfoque y aceleración (G2). Esto probablemente se alimentará de una única bobina de la serie. A menudo se incluyen en el flyback, ajustes para el enfoque y screen de la imagen.
- Bobinados auxiliares: de un par de espiras (para el filamento de TRC) a varios cientos (para una fuente reforzada). La medida de estos bobinados dependerá de los requisitos de cada caso. Están conectados a los pines para soldar en la base del flyback.

- Núcleo de la ferrita: consistente en dos piezas en forma U sujetadas con abrazaderas, tornillos o pegadas. Entre ambas piezas hay unas aberturas de décimas de mm creadas por un par de espaciadores.

Su uso de material en el rango de los mm hace que sea difícil de replicar sin utilizar maquinaria por lo que son de difíciles de fabricar y reparar [28].

#### 4.2.2.1.3 Modulo relevador controlable

Se seleccionó con el propósito de controlar la activación del transformador flyback con ayuda del microcontrolador Arduino. Con el propósito de que el arco eléctrico solo se active en los intervalos de trabajo del dispositivo ozonizador.

En la figura 4.6 se observa la distribución de pines del módulo relevador

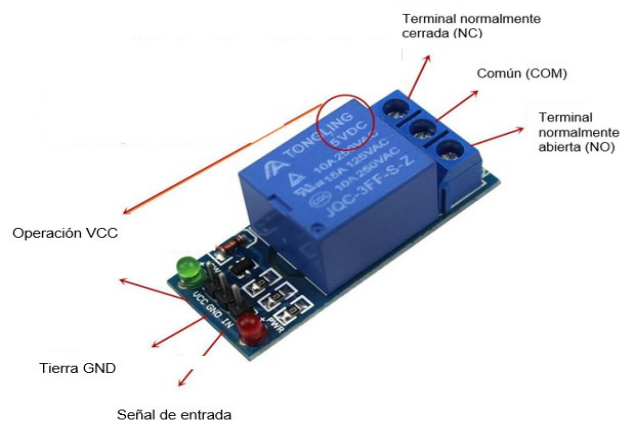


Figura 4.6 Diagrama esquemático del módulo relevador

En la tabla 4.2 se pueden ver los parámetros de modulo relevador obtenidos de su datasheet

<b>Voltaje nominal</b>	<b>5 VDC</b>
<b>Corriente nominal</b>	<b>71.4 mA</b>
<b>Voltaje de funcionamiento máximo</b>	<b>3.75 VDC</b>
<b>Voltaje mínimo de funcionamiento</b>	<b>0.25 VDC</b>
<b>Bobina de Resistencia (<math>\Omega \pm 10\%</math>)</b>	<b>69 <math>\Omega</math></b>
<b>Tiempo de operación</b>	<b>10 ms</b>
<b>Tiempo de liberación</b>	<b>5ms</b>
<b>Voltaje de conmutación máximo</b>	<b>250VAC/30VDC</b>
<b>Corriente de conmutación máximo</b>	<b>15A</b>
<b>Rango de temperatura</b>	<b>-40°C a +85°C</b>

Tabla 4.2 Parámetros de funcionamiento del módulo relevador

A su vez se seleccionó un segundo modulo con las mismas características para controlar el extractor con la función de activarse en intervalos definidos con el propósito de que el ozono no se acumule demasiado dentro de la cámara.

El código de programación utilizado para controlar ambos módulos relevadores controlables puede consultarse en la sección de anexos resaltado en color azul.

#### 4.2.2.1.4 Módulo regulador de temperatura e inducción para el transformador flyback y estabilización de voltaje

Este tipo de módulos viene integrado al realizar la compra del transformador flyback ya que tiene una función muy importante, la cual es regular la temperatura generada por el transformador flyback y evitar que se sobrecaliente para esto cuenta con 2 MOSFET-N dedicados. A su vez tiene la tarea de estabilizar el voltaje para evitar las fluctuaciones. También cuentan con un embobinado que eleva la frecuencia de entrada de 60 Hz a 120Hz. En la figura 4.7 se observa el circuito en placa del módulo de temperatura e inducción.

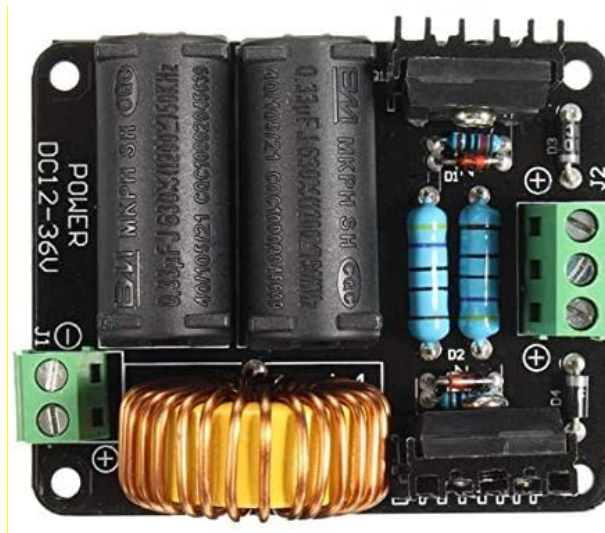


Figura 4.7 Módulo regulador de temperatura e inducción

Este módulo fue alimentado con el arreglo del puente de diodos para conseguir los 24 VDC de igual forma su encendido fue automatizado al agregarle el módulo relevador y de este modo controlar el arranque del transformador flyback.

En la figura 4.8 se puede observar el diagrama eléctrico para módulo de temperatura e inducción.

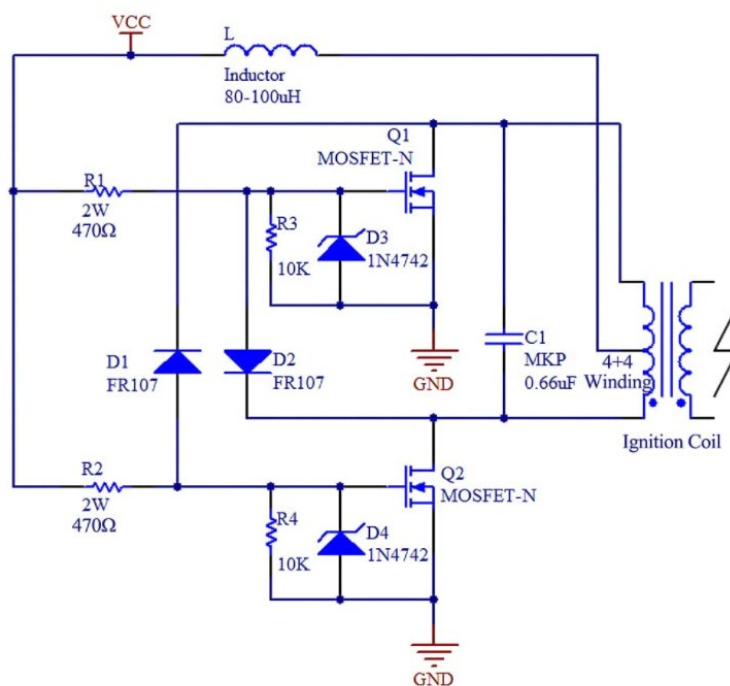


Figura 4.8 Esquema del circuito para el módulo regulador de temperatura e inducción

#### 4.2.2.2 B.- Sección de generación de ozono por efecto corona

En esta sección se produce el ozono utilizando el voltaje proporcionado por el transformador flyback sobre las placas de aluminio, que posteriormente es utilizado en la cámara de tratamiento el cual fluye impulsado por un ventilador ubicado en un extremo de la sección.

##### 4.2.2.2.1 Diseño de placas para el arco eléctrico

Se diseñaron modelos para las placas de aluminio las cuales tienen como objetivo generar ozono, ya que cumplirían la función de ánodo y cátodo para producir ozono a través de los arcos eléctricos creados por el alto voltaje del transformador flyback, la cual fluye a través de las placas con el objetivo de realizar el efecto corona. Las placas se llevaron a un taller con el equipo requerido para que fuesen cortadas con el diseño solicitado.

Las placas de aluminio debían de colocarse a una distancia específica para de este modo pudiese producirse un arco eléctrico estable, para determinar dicha distancia se realizaron experimentos de prueba y error en los que las placas se movieron milimétricamente llegando a la conclusión de que la distancia optima oscilaba alrededor de los 3 cm +/- 0.1 cm. En la figura 4.9 se observa un esquema con las medidas para el diseño de las placas.

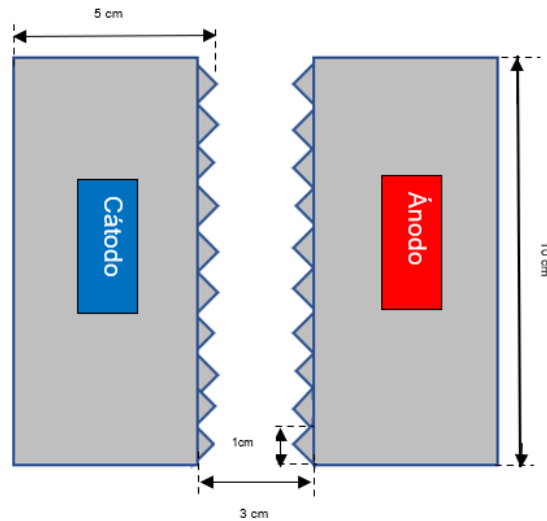


Figura 4.9 Diseño de las placas de aluminio.

#### 4.2.2.2 Ventilador

Para que hubiese un flujo constante de ozono a la cámara de tratamiento de sustratos se seleccionó un ventilador con suficiente potencia y practico el cual generaría una corriente de aire para mantener el flujo de ozono hacia la cámara.

Este pequeño pero potente ventilador mide 40x40x10mm y funciona a 24V. Es muy común en los ordenadores y sirve también para ventilar todo tipo de proyectos que sean propensos a calentarse demasiado y se requiere que se mantengan frescos. Su consumo ronda los 200mA. En la figura 4.10 se puede observar el ventilador seleccionado para el proyecto, en la tabla 4.3 se pueden ver sus especificaciones básicas.



Figura 4.10. Ventilador de 24V

<b>Voltaje nominal</b>	<b>24 volts CC</b>
<b>Corriente de operación</b>	<b>0.06 A</b>
<b>Consumo de energía</b>	<b>1.44 W</b>
<b>Ruido</b>	<b>25dBA</b>

Tabla 4.3 Especificaciones del ventilador

#### **4.2.2.3 C.- Sección de tratamiento de sustratos**

Esta sección tiene como propósito contener el ozono generado para que de este modo los sustratos introducidos en ella sean sometidos a un tratamiento de ozono controlado y monitoreado gracias al sensor de ozono MQ-131.

##### **4.2.2.3.1 Extractor**

Se seleccionó con el propósito de mantener un flujo con el ozono que había sido utilizado en la cámara y enviarlo hacia el exterior para prevenir la exposición de ozono al usuario.

Es un ventilador de dimensiones 50x50x15mm a 24V de operación con la función de extraer el aire de una zona deseada, comúnmente utilizados en las impresoras 3D como parte del sistema de refrigeración, a pesar de su tamaño posee gran potencia. En la figura 4.11 se puede observar el extractor seleccionado para el proyecto, en la tabla 4.4 se pueden ver sus especificaciones básicas.



Figura 4.11 Extractor

<b>Voltaje nominal</b>	<b>24 volts CC</b>
<b>Tamaño de entrada</b>	<b>31 mm</b>
<b>Tamaño de salida</b>	<b>20x15 mm</b>
<b>Corriente nominal</b>	<b>0.18 A</b>
<b>Ruido</b>	<b>25dBA</b>

Tabla 4.4 Especificaciones del extractor

#### 4.2.2.4 D.- Panel de control

Se diseñó una interfaz con la que el usuario pudiese interactuar y manipular el funcionamiento del dispositivo ozonizador, así como visualizar los datos entregados por el sensor, la cual fue cargada en el microcontrolador Arduino nano que funcionaría como núcleo del panel de control.

El código de programación del panel de control se puede consultar en la sección de anexos

##### 4.2.2.4.1 Tarjeta de desarrollo Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador programable y una serie de pines hembra los cuales permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla.

Al hablar de “Arduino” se debe especificar el modelo concreto. Existen diferentes modelos de placas Arduino oficiales, cada una pensada con un propósito diferente y características variadas (como el tamaño físico, número de pines E/S, modelo del microcontrolador, etc.). A pesar de las varias placas que existen todas pertenecen a la misma familia (microcontroladores AVR marca Atmel). Esto significa que comparten la mayoría de sus características de software, como arquitectura, librerías y documentación.

En el proyecto se empleó la tarjeta de desarrollo “Arduino nano” dado que su tamaño es óptimo para reducir espacio y consta con las características requeridas para realizar el proyecto, en la figura 4.12 se puede observar un diagrama esquemático que muestra su distribución de pines y componentes [29].

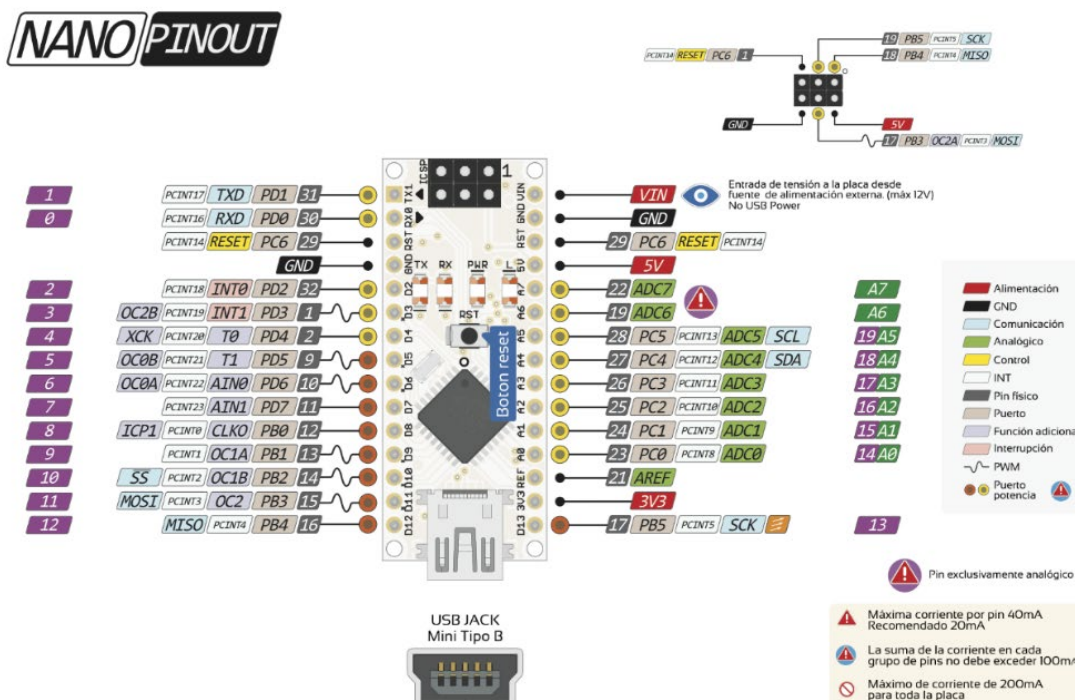


Figura 4.12 Diagrama esquemático Arduino nano.

Con el propósito de mantener un control de encendido y apagado para la generación del arco eléctrico se incorporó un módulo relevador el cual gracias al Arduino es controlado de acuerdo a los ciclos de activación del dispositivo ozonizador.

El código de programación utilizado para las funciones de Arduino se puede consultar en la sección de anexos resaltado en color gris.



#### 4.2.2.4.2 Monitor de cristal líquido (LCD)

Se incorporo con el objetivo de proporcionar al usuario una interfaz donde pueda visualizar el flujo de datos y orientarse con el funcionamiento del dispositivo ozonizador.



Figura 4.13 Pantalla LCD

El LCD es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos<sup>14</sup> los cuales están colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica. En la figura 4.13 se observa el LCD seleccionado para el proyecto.

Presenta las siguientes características que se muestran en la tabla 4.5:

<b>16 caracteres</b>	<b>2 líneas</b>
<b>Cantidad de Caracteres</b>	<b>5x8 puntos</b>
<b>Tamaño de carácter</b>	<b>5.23 x 3 mm</b>
<b>Puede mostrar letras, números, caracteres especiales, y hasta 8 caracteres creados por el usuario</b>	
<b>Backlight</b>	<b>LED color azul</b>
<b>Interface paralela</b>	<b>Puede operar en modo de 8 bits, o de 4 bits para ahorrar pines del microcontrolador)</b>
<b>Voltaje de alimentación</b>	<b>5V</b>

Tabla 4.5 Especificaciones del LCD

### 4.2.2.4.3 Módulo adaptador I2C

Controlar la pantalla LCD con Arduino nano es mucho más sencillo con la ayuda del módulo adaptador de LCD a interfaz I2C<sup>15</sup> pues permite manejar el LCD utilizando solo 2 pines (SDA y SCL). Este módulo es compatible con los LCD 1602 y LCD 2004. El módulo está basado en el controlador I2C PCF8574 que es un expansor de entradas y salidas digitales controlado por I2C. Por el diseño del PCB este módulo se usa especialmente para controlar un LCD Alfanumérico. En la figura 4.14 puede observarse el diagrama esquemático del modulo.

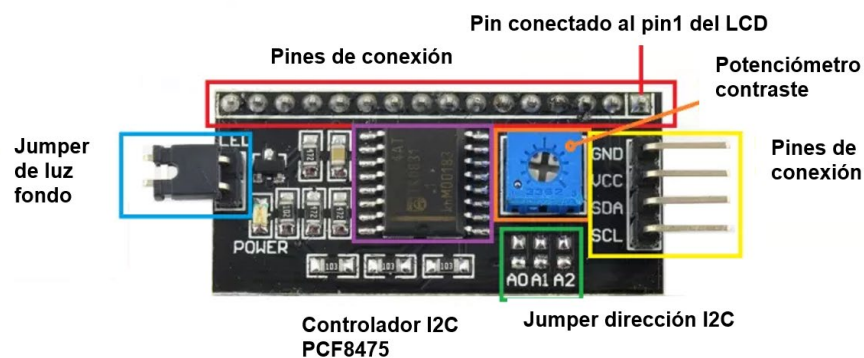


Figura 4.14 Módulo adaptador I2C

El módulo PCF8574A permite expandir las entradas o salidas digitales de Arduino utilizando solo 2 líneas del bus I2C (SDA y SCL). El chip PCF8574 logra convertir datos en paralelo (8 E/S) a I2C y viceversa, por lo que es ideal para el manejo de dispositivos como: displays LCD alfanuméricos, teclados matriciales, LEDs, relays y más. Puede compartir el bus I2C con otros dispositivos y así ahorrar pines, por ejemplo: RTC, memoria, sensores.

Las salidas del módulo PCF8574 son de tipo Latch<sup>16</sup>, por lo que mantienen el valor asignado sin necesidad de actualización constante, permitiendo de esta manera reducir la carga computacional. Las salidas latch<sup>15</sup> son especialmente útiles al trabajar con relays o LEDs. Las entradas pueden ser configuradas para activar la salida de interrupción (INT) y así manejar una respuesta rápida.

El código de programación utilizado para controlar el LCD y el módulo I2C puede consultarse en la sección de anexos resaltado en color verde lima.

## 4.3 Elaboración

La fase de elaboración del proyecto se dividió en 2 etapas, en la primera se desarrolló un prototipo funcional utilizando los componentes eléctricos expuestos al ambiente (sin carcasa) y finalmente en la segunda parte se elaboró el dispositivo ozonizador funcional siendo este el producto final.

### 4.3.1 Prototipo

Para la elaboración del proyecto se seleccionó los componentes eléctricos y electrónicos que comprenderían la etapa de generación del arco eléctrico que produciría el ozono.

Se selecciono una fuente de poder adecuada para alimentar el dispositivo ozonizador con las características de 127/24 volts y 1A a CC que se obtuvieron de un arreglo utilizando un puente de diodos aplicado a un transformador CA.

Posteriormente se procedió a la etapa de ensamblaje del prototipo en donde se conectó la fuente de poder al módulo regulador de temperatura e inducción que se encarga de acondicionar la señal de entrada de voltaje para el transformador flyback como se muestra en la figura 4.15

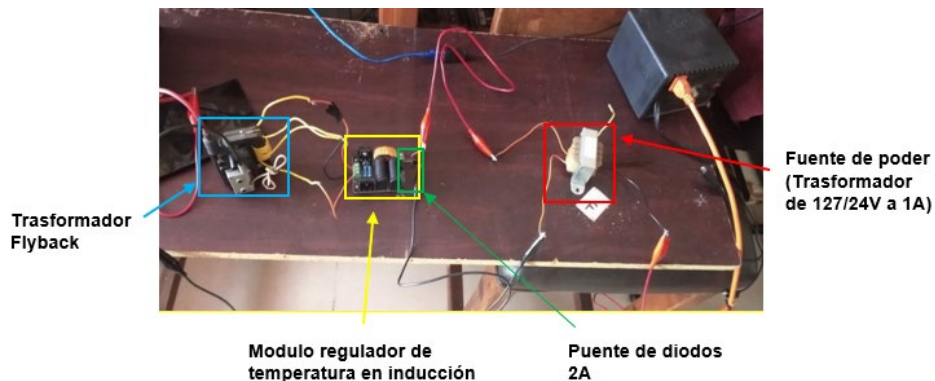


Figura 4.15 Configuración de componentes en etapa de prototipo

Para la entrada del transformador se colocó cable de calibre 16 al que se le dieron 4 vueltas, siendo esta la cantidad de vueltas convencional utilizada en los transformadores flyback para generar el voltaje requerido de salida que se encuentra alrededor de los 10kV.

Dicha salida fue conectada a las placas de aluminio atornilladas sobre una superficie de acrílico, elevadas a 0.5 cm y separadas a 3 cm entre sí.

Este prototipo de las placas mostrado en la figura 4.16 fue utilizado en las pruebas iniciales para comprobar el funcionamiento del arco eléctrico, además de realizar las primeras pruebas con el sensor de ozono.



Figura 4.16 Prototipo para las placas de aluminio

### **4.3.2 Ensamblaje final**

Una vez concluida la experimentación con el prototipo se procedió al montaje del producto final con el que se realizaría la experimentación de tratamiento por ozono.

Para el ensamblaje se seleccionó una tabla de madera de 30X30 cm sobre la cual se montó la cámara de acrílico, la cámara de generación y la sección donde se colocarían los componentes de la sección de acondicionamiento para la alimentación y voltaje del arco eléctrico, las cuales fueron adheridas utilizando silicón industrial de color negro para que quedaran fijas a la base de madera como se muestra en la figura 4.17

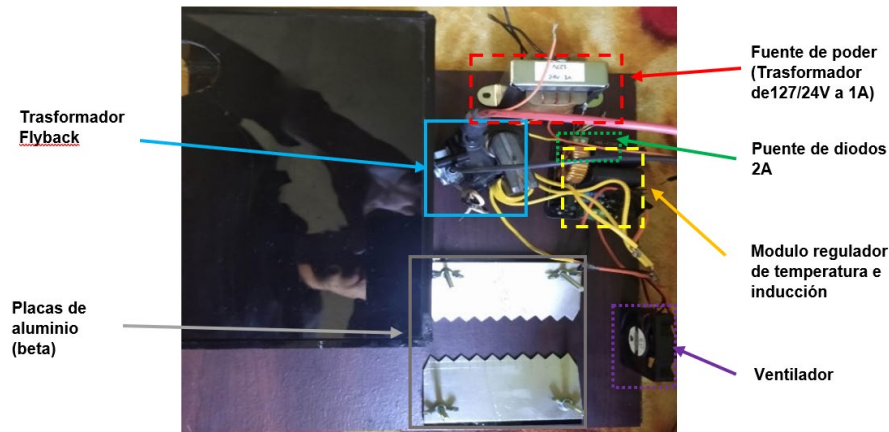


Figura 4.17 Configuración de los componentes.

### 4.3.2.1 Ensamblaje de las secciones del dispositivo ozonizador

Tal y como se mencionó en capítulos anteriores el dispositivo ozonizador se divide en distintas secciones de trabajo, las cuales fueron elaboradas una a una como se explica a continuación.

#### 4.3.2.1.1 Sección de generación y acondicionamiento para el voltaje del arco eléctrico

Tanto el transformador como el regulador de temperatura fueron atornillados a la estructura de madera. En la misma cámara se colocó el transformador flyback lo más alejado posible del resto de los componentes debido al alto voltaje que este genera.

Para controlar las activaciones del transformador flyback y el extractor de ozono se colocaron relevadores en estos componentes los cuales se encuentran ubicados en esta misma sección.

Por último, se implementó una segunda fuente de alimentación de 127/5 volts con el propósito de energizar a los componentes electrónicos que se alimentan con este margen de voltaje, esto debido a que no era posible utilizar el transformador principal para dicho propósito ya que el transformador flyback generaba demasiada interferencia en la fuente.

En la figura 4.18 se puede observar los componentes que integran la sección de generación del dispositivo ozonizador.

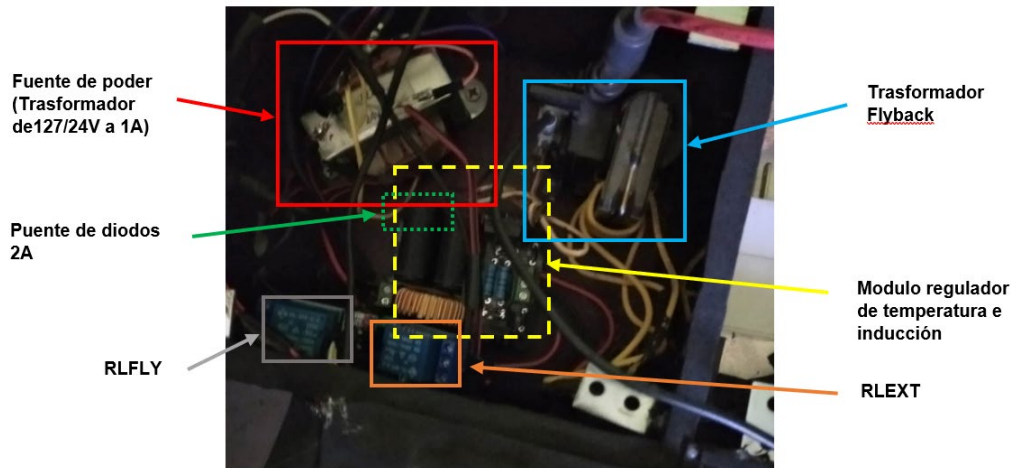


Figura 4.18 Sección de generación y acondicionamiento de voltaje.

#### 4.3.2.1.2 Sección de generación del arco eléctrico

Para elaborar esta sección se procedió a montar el tubo que conectaría a la sección de generación de ozono con la cámara de limpieza, el cual fue montado utilizando también silicón industrial.

A su vez se colocó el ventilador de la cámara de generación de ozono, en esta etapa se suscitó una problemática debido a que el ventilador se encontraba demasiado cerca de las placas del arco eléctrico, por lo que se tuvo que realizar una modificación para alejar 3cm el ventilador de las placas como se muestra en la figura 4.19



Figura 4.19 Reorganización del ventilador de entrada

Finalmente, para colocar las placas de aluminio se fabricó una estructura de madera que se encargaría de servir como soporte para las placas, las cuales fueron colocadas a 3cm entre sí. En la figura 4.20 se puede observar la distribución de los componentes de la sección del arco eléctrico.

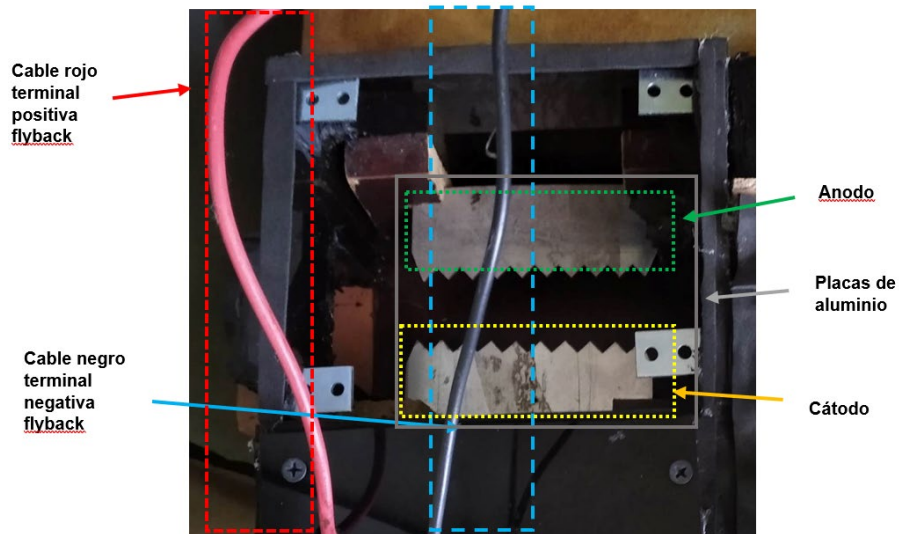


Figura 4.20 Sección de generación del arco eléctrico.

#### 4.3.2.1.3 Sección de tratamiento de sustratos

Para la siguiente sección se elaboró y colocó la puerta que daría acceso a la cámara de limpieza la cual consta de bisagras, una manija para abrir o cerrar y un soporte para mantener la puerta cerrada como se muestra en la figura 4.21

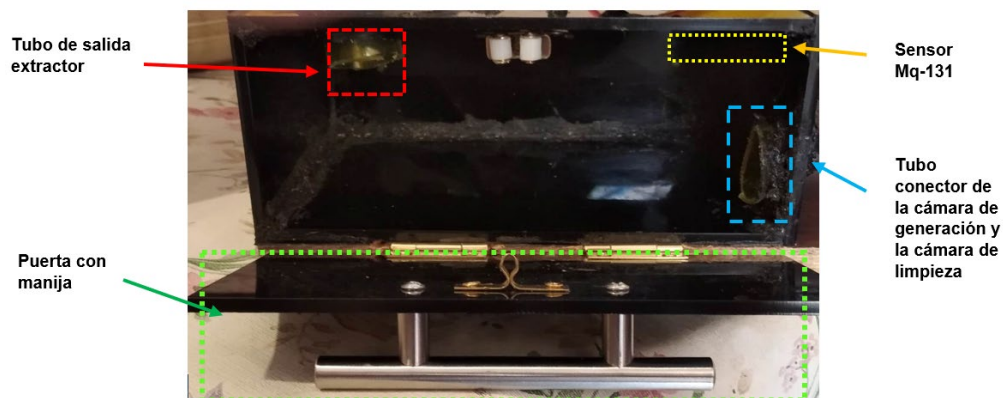


Figura 4.21 Puerta de la cámara de limpieza

Posteriormente, se adaptó una base en el agujero de extracción para poder colocar el tubo de salida del extractor como se muestra en la figura 4.22

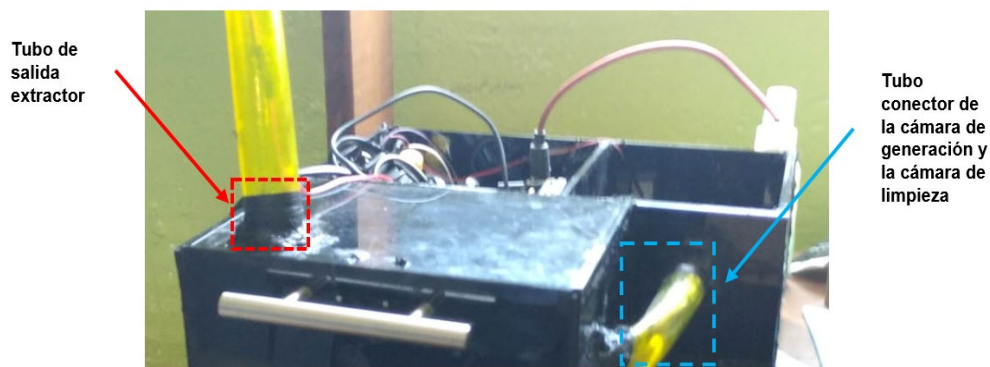


Figura 4.22 Integración del tubo de extracción

Sin embargo, al manipular el tubo de extracción nos percatamos que era muy estorboso y difícil de ajustar lo que dificultaba trasportar el dispositivo ozonizador por lo que se optó por cambiar el tubo por uno más delgado además de que pudiera montarse y desmontar para facilitar su transporte como se muestra en la figura 4.23

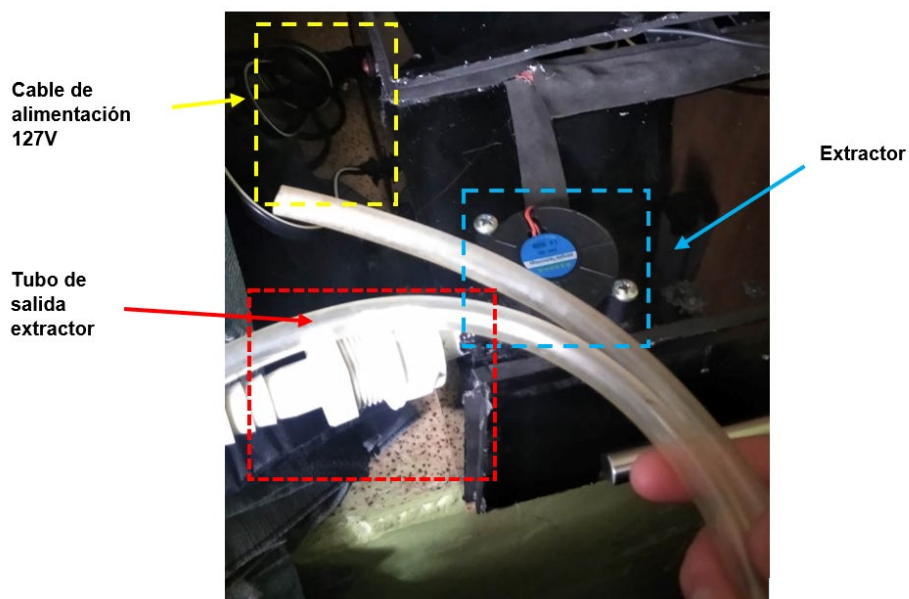


Figura 4.23 Tubo de extracción versión 2



#### 4.3.2.1.4 Panel de control

Para la sección del panel de control se elaboró una estructura utilizando una caja que serviría como base para colocar los interruptores del panel de control, el LCD y también funcionaría como cubierta para el Arduino nano, el cual es el núcleo principal del panel de control. Dicha estructura fue forrada de color negro para contrastar con el color base del dispositivo ozonizador. En la figura 4.24 se puede observar el panel de control en funcionamiento.

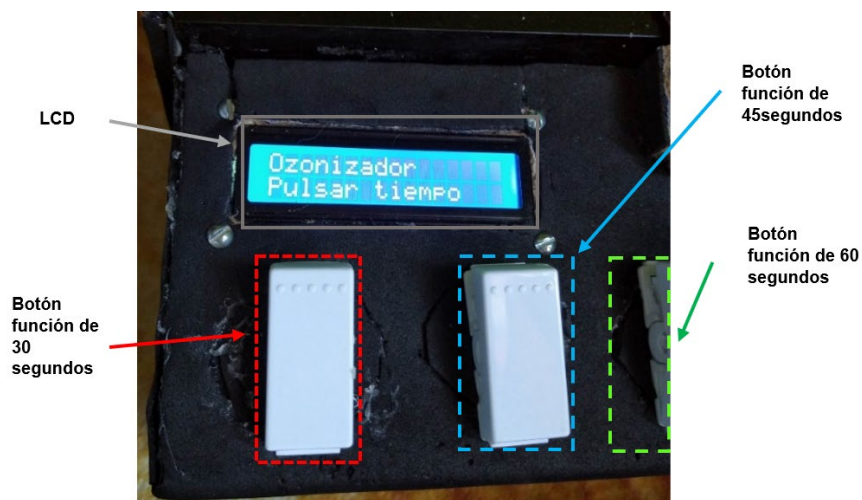


Figura 4.24 Panel de control.

El código de programación utilizado para los botones puede consultarse en la sección de anexos resaltado en color **amarillo**.

#### 4.3.3 Producto final

Para considerar el proyecto como un producto finalizado se conectaron todos los componentes juntos para comprobar que todos funcionaran de forma óptima antes de atornillar y cerrar el dispositivo ozonizador como se muestra en la figura 4.25

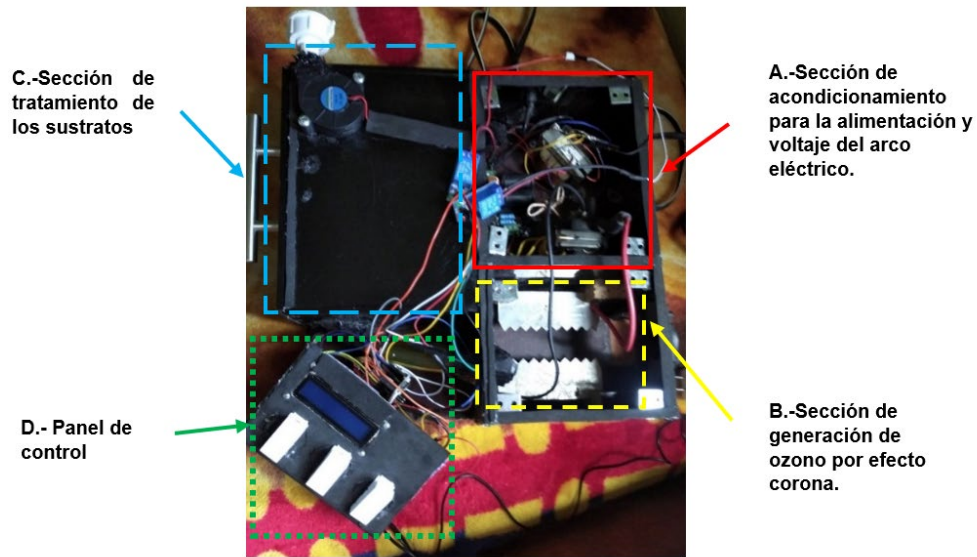


Figura 4.25 Prueba del funcionamiento final

Una vez se comprobó que todo estuviera conectado correctamente y funcionara como era requerido, se procedió a organizar los cables y componentes previo a su cierre como se muestra en la figura 4.26

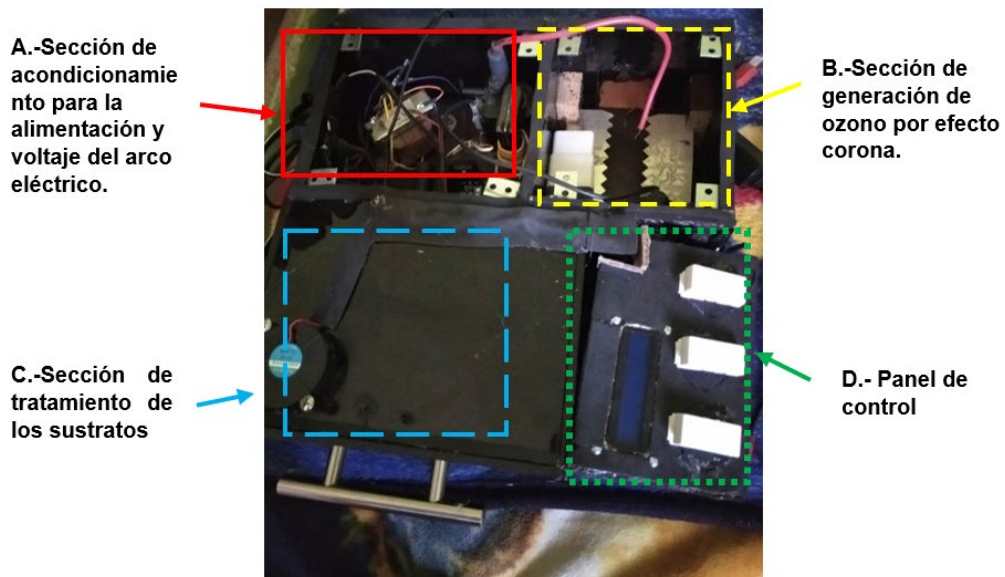


Figura 4.26 Organización de cables y componentes

Como etapa final se atornillaron las tapas del techo del dispositivo ozonizador para no dejar expuesto los componentes al exterior como se muestra en la figura 4.27

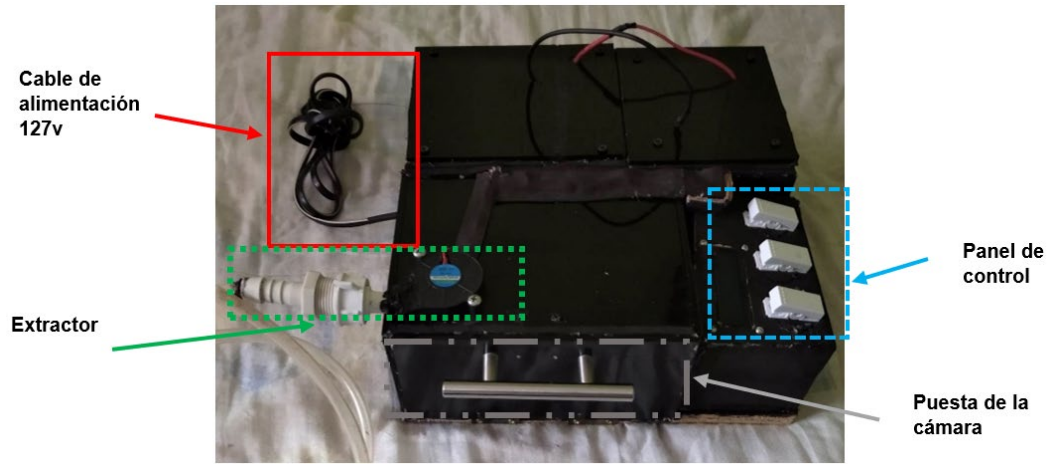


Figura 4.27 Presentación final del dispositivo ozonizador

Teniendo en cuenta que no se consideró la altura del transformador flyback cuando se mandó a realizar los cortes en acrílico se tuvieron que hacer un par de agujeros para que permitiese la salida de los cables del transformador flyback y estos pudiesen llegar a la cámara donde se encuentran las placas de aluminio donde debían conectarse.

En la figura 4.28 se puede observar al dispositivo ozonizador en funcionamiento.

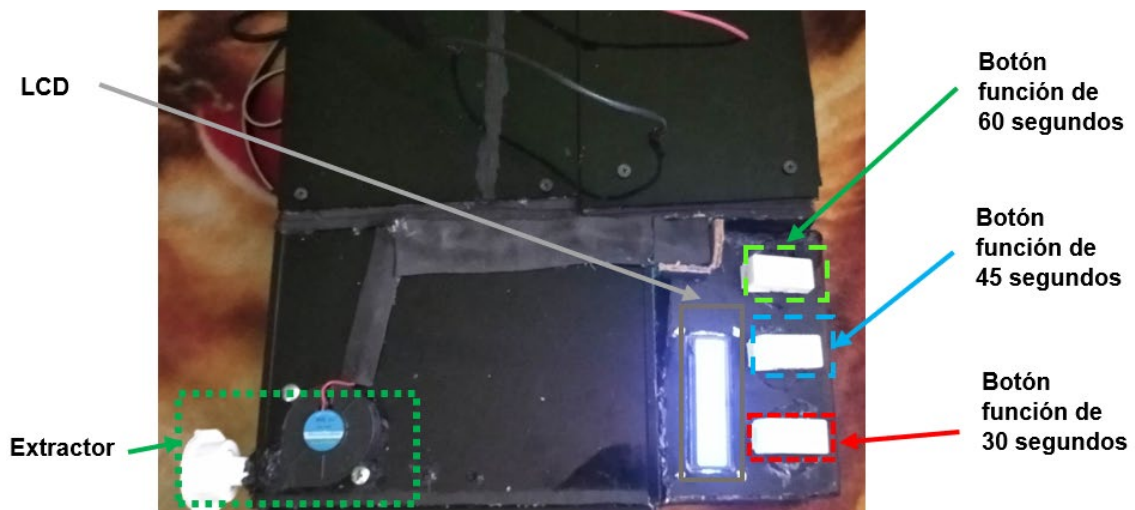


Figura 4.28 Dispositivo ozonizador encendido

## 4.4 Conclusiones

Este capítulo comprende a todo lo referente a la elaboración del dispositivo ozonizador, en donde se planifico los pasos a seguir para tener una guía de cómo se elaboraría el dispositivo.

En cuanto al diseño este dispuso de tres etapas, en donde primero se desarrolló un circuito electrónico con los componentes del dispositivo con ayuda de Proteus, como segunda etapa se desarrolló un diagrama 3D en donde se dividió por secciones todas las etapas que comprendían al dispositivo ozonizador con el objetivo de tener un enfoque más específico de la vista de cada sección. Finalmente se desarrolló un diagrama de flujo que ayudaría al desarrollo del código de programación para la automatización del dispositivo.

Una vez completado el diseño, esto permitió proceder a la etapa de elaboración, la cual se dividió en 2 etapas; para la primera fase se desarrolló un prototipo utilizando solamente los componentes eléctricos y electrónicos con el objetivo de tener un mejor entendimiento del funcionamiento del dispositivo ozonizador. En cuanto a la segunda etapa se desarrolló la carcasa y se montaron todos los componentes para automatizar el sistema y así obtener la versión final.

# CAPITULO V – Resultados experimentales del funcionamiento en el dispositivo ozonizador

En este capítulo se muestran los resultados experimentales del funcionamiento del ozonizador, donde el contenido es dividido en tres partes. Como primera parte se muestra el resultado de la calibración del sensor ocupado para conocer la cantidad de ozono en ppb que es obtenido mediante el dispositivo ozonizador elaborado. Posteriormente se muestran los resultados al exponer dos películas de materiales (estructura TFT) sometidas en ozono, su uso en el tratamiento de superficies. Y por último el resultado del dispositivo ozonizador como limpiador de superficies.

## 5.1 Calibración del sensor MQ-131

Este procedimiento se realizó en conjunto con la generación de ozono por medio del efecto corona y la utilización del sensor MQ-131. El sensor se conectó a la tarjeta de desarrollo Arduino nano. Con el uso del ADC y la utilización de un código para la lectura del ADC, previamente cargado en el Arduino, se obtuvo la lectura de la variación de voltaje del sensor. Para la visualización de los datos se utilizó el monitor serial para extraer los datos que posteriormente serian analizados mediante una hoja de cálculo.

En la figura 5.1 puede observarse la configuración de la conexión del sensor con la placa de desarrollo Arduino nano.

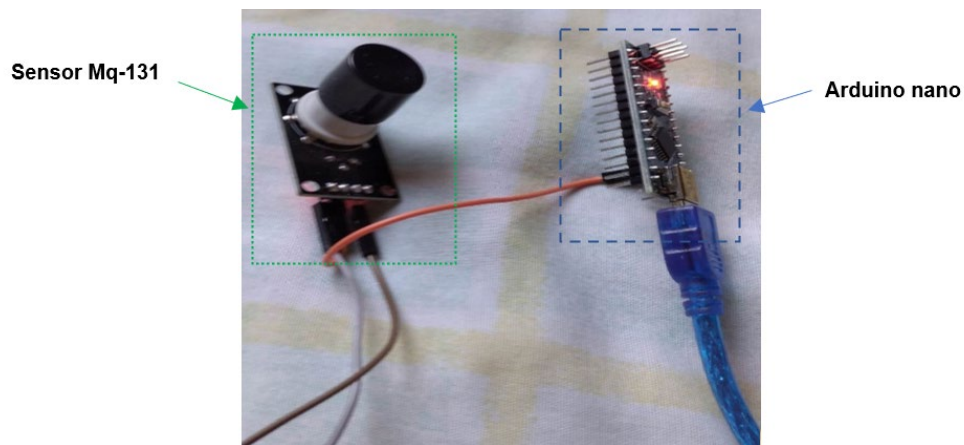


Figura 5.1 Pruebas con sensor MQ-131 y el microcontrolador.

El código de programación para la adquisición de datos del sensor puede consultarse en la sección de anexos resaltado en color **verde oscuro**.

En la figura 5.2 se muestran mediante el monitor serial del Arduino en la computadora los primeros datos que lograron obtenerse del sensor de ozono MQ-131 al ser sometido en un ambiente con ozono.

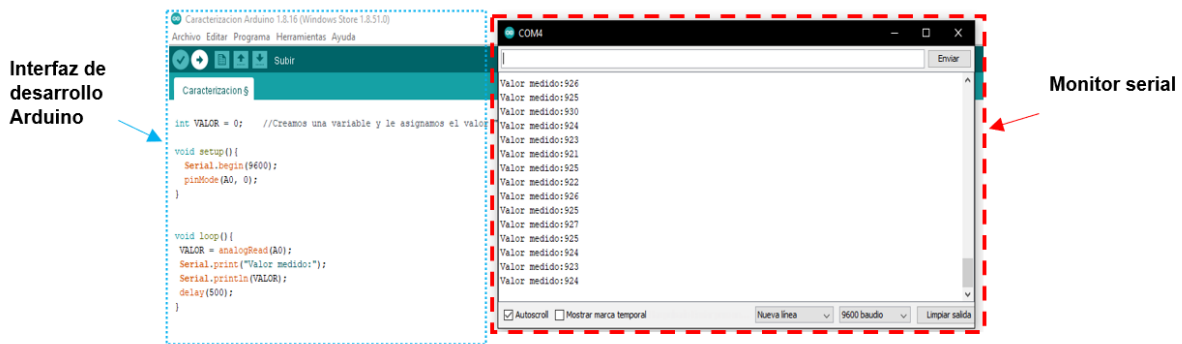


Figura 5.2 Adquisición de datos por medio de la interfaz de Arduino.

### 5.1.1 Experimentación de concentración de ozono

Se generó ozono mediante el efecto corona y se realizó un muestreo de ozono con el sensor, el muestreo se realizó con múltiples experimentos de generación de ozono para medir la concentración en partes por billón (ppb). De esa manera obtener datos precisos de la generación de ozono y del funcionamiento del dispositivo ozonizador. De los datos obtenidos se comparó con la hoja de características de concentración proporcionadas por el fabricante del sensor.

En la figura 5.3 se observa la curva de sensibilidad del sensor MQ-131 obtenida de su DataSheet.

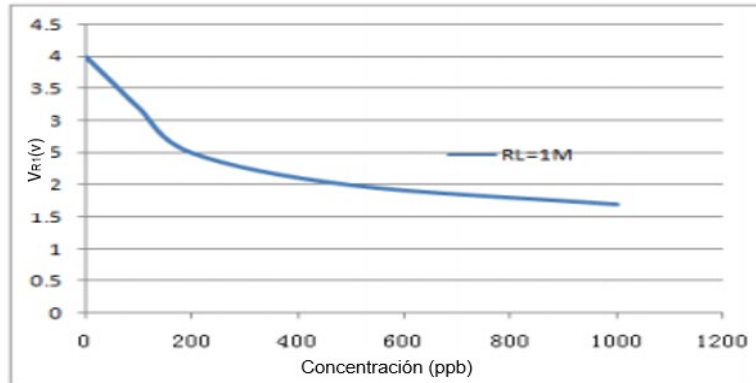


Figura 5.3 Curva de sensibilidad del sensor MQ-131

La primera prueba de censado se realizó en un espacio abierto ya que no se tenía una cámara para contenerlo, esto ocasiono que la cuantificación del ozono fuera inestable al no tener una buena concentración del gas, debido a esto, se pudo observar que la tabla de datos de censado era irregular ya que sus valores fueron alejados a los propuestos por el fabricante, pero se mantuvieron aproximados en la forma de la curva original obtenida de la datasheet.

En la figura 5.4 se observa la concentración obtenida en ppb tras realizar el primer experimento.

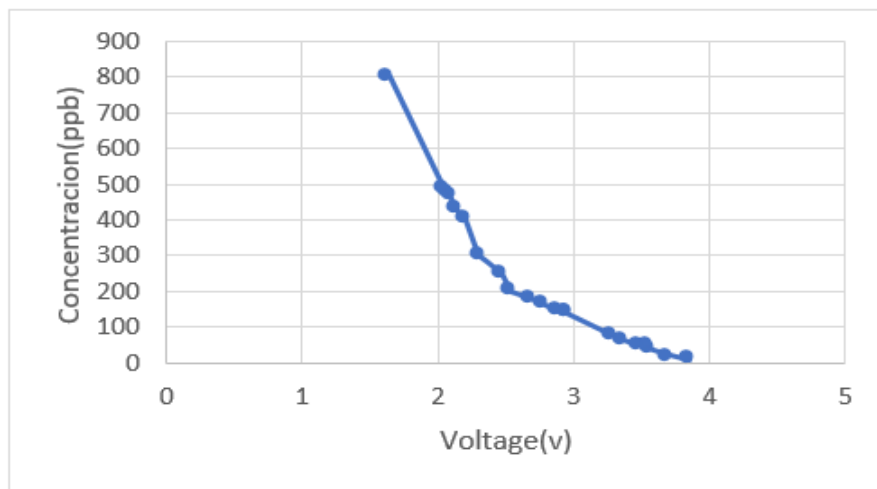


Figura 5.4 Curva de sensibilidad (Primer experimento)

Los experimentos posteriores fueron realizados en la cámara cerrada del dispositivo ozonizador con flujo de entrada y salida de ozono por lo que al observar los datos medidos por el sensor se percibió que sus datos fueron más cercanos a los valores del fabricante y de este modo conocer la concentración de ppb utilizada en las pruebas de los sustratos. En base a esto en la figura 5.5 puede observarse la curva de valores obtenidos tras realizar 10 experimentos de concentración en ppb. En base a esto pudimos observar que el promedio de generación va desde las 100ppb hasta 500ppb

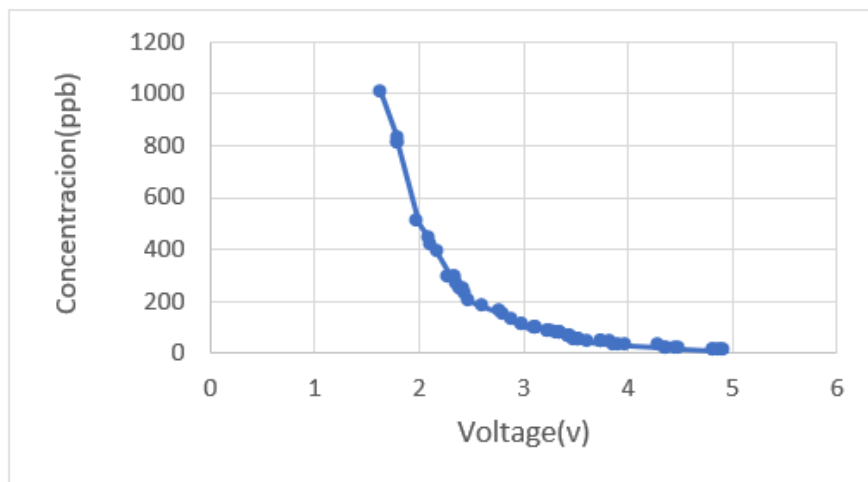


Figura 5.5 Curva de sensibilidad (Promedio de 10 experimentos)

### 5.1.2 Experimentos de degradación de ozono en la cámara del dispositivo ozonizador

Al percibir que existía una generación de ozono se realizaron experimentos para conocer la degradación del ozono en el ambiente con el fin de comprobar que el proceso es amigable al no contaminar, ya que se descompone en oxígeno con rapidez. Para los experimentos se realizaron pruebas de degradación del ozono en un tiempo de 3 min, logrando observar que al transcurrir 90 segundos el sensor dejaba de percibir ozono, esto debido en base a la gráfica del fabricante los valores por encima de “4V” indican que no hay ozono presente.

En la figura 5.6 se observa la degradación del primer experimento siendo  $\frac{926 \text{ datos}}{5(\text{datos})(s)} = 183.5 \text{ segundos}$  de muestreo.



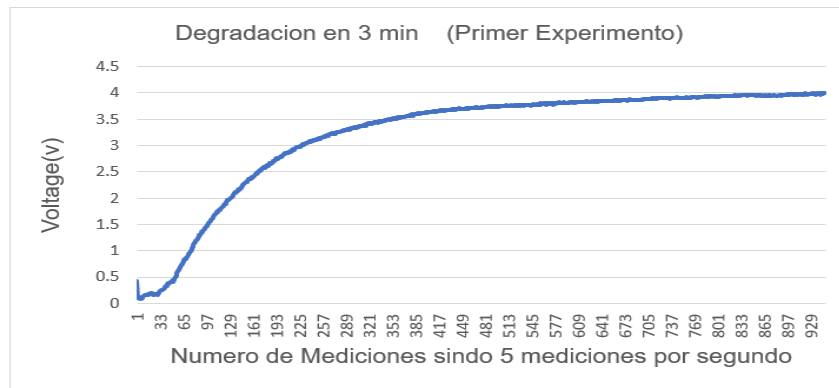


Figura 5.6 Degradación del ozono en 180 segundos (Primer experimento)

Una vez integrado a la cámara el ventilador de entrada y el extractor de salida se realizaron experimentos para observar el desarrollo de la degradación de ozono a lo largo de 3 min. De esto se pudo observar que la eficiencia de degradación aumentó 300% al realizar el proceso de degradación en 30 segundos basándose en la información del fabricante del sensor. Por último, se pudo corroborar que el ozono generado por el ozonizador no puede considerarse como contaminante ya que el ozono es extraído y degradado rápidamente.

En la figura 5.7 se observa el promedio de 10 experimentos de degradación siendo  $\frac{900 \text{ datos}}{5(\text{datos})(s)} = 180 \text{ segundos}$  de muestreo.

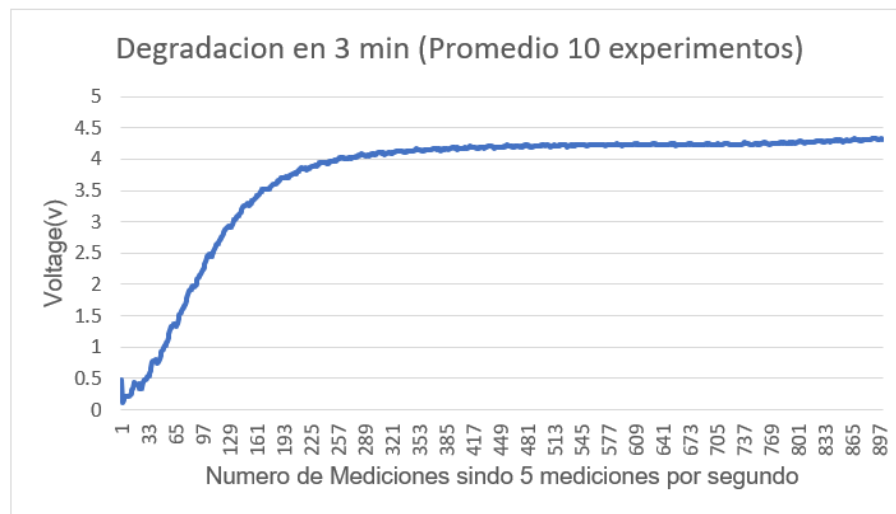


Figura 5.7 Degradación del ozono en 180 segundos (Promedio de 10 experimentos).

## 5.2 Resultados del dispositivo ozonizador como tratamiento de superficies

Se ocupó el proyecto como equipo para tratamiento de superficies, para ello se usaron dos sustratos con películas de materiales previamente depositadas. Los materiales sometidos al tratamiento en el dispositivo ozonizador fueron el óxido de hafnio-indio-zinc (HIZO) y el óxido de hafnio ( $\text{HfO}_2$ ), depositados sobre un sustrato de silicio. Los materiales sometidos en el estudio son ocupados como material semiconductor y material dieléctrico de compuerta, ambos materiales son empleados en la estructura TFT la cual es desarrollada en el laboratorio de la SEES.

Las muestras de HIZO y  $\text{HfO}_2$  fueron depositadas mediante el método de pulverización catódica de RF a RT. Ambas muestras fueron depositadas por un tiempo de 30 minutos, en ambiente de argón en cámaras independientes. Cabe mencionar que la configuración de los depósitos de las películas va de acuerdo con la fabricación de TFTs. Estos depósitos fueron realizados por el técnico de laboratorio de microelectrónica de la SEES.

Como parte del desarrollo experimental, las muestras de HIZO y  $\text{HfO}_2$  fueron colocadas en la cámara del dispositivo ozonizador con la compuerta cerrada. De acuerdo con la configuración de utilización del proyecto para ser empleado de manera segura este cuenta con tres temporizaciones predeterminadas para generar ozono y evitar que se sobrecaliente el equipo, las cuales son: 30seg, 45seg, y un minuto. Ambas muestras fueron sometidas a dos sesiones que contienen 8 ciclos de 10 exposiciones de ozono. Se selecciono las configuraciones de un minuto para maximizar la exposición de ozono en las muestras, con un tiempo de descanso de 30 segundos, esto trae como resultado que cada ciclo tiene un tiempo de duración de 15 minutos y cada sesión tiene un tiempo de duración de 120 minutos, dado a que se realizaron 2 sesiones el tiempo total de experimentación ascendió a 4hrs en total.

La forma en que se analizó el posible cambio logrado por la exposición en ozono a cada una de las capas es realizada mediante la medición de sus espesores con la técnica de Elipsometría. La Elipsometría es una técnica de análisis óptica que se basa en el cambio del estado de polarización de la luz que se incide sobre un material. Si se determina el

cambio de polarización que un sistema multicapas produce sobre el haz incidente, se pueden establecer los espesores ( $\xi_i$ ) de las capas que lo componen, mediante el ajuste de los parámetros elipsométricos ( $\psi$  ( $\Psi$ ) y  $\Delta$ ) al modelo óptico del sistema [30]. Dicho análisis no altera la muestra y es útil para la determinación de espesores de películas delgadas e índices de refracción complejo. El elipsómetro de ángulo variable utilizado para estas mediciones es de la marca Gaerthner Scientific Corporation de modelo L2W16S633.830 como se ve en la figura 5.8



Figura 5.8 Elipsómetro de la SEES

El índice de refracción ( $n$ ) de una sustancia o medio es un número adimensional que describe la propagación de la luz a través de él. Como el tratamiento a la superficie del material en ozono no podría cambiar la morfología o características del volumen del material, se consideró al índice de refracción de forma constante. Cuando la luz atraviesa un medio, una parte de ella es absorbida, esto puede incluirse en el cálculo del índice de refracción complejo, como el coeficiente de extinción ( $k$ ), que indica la absorción de la luz incidente por el material. Para el caso del óxido semiconductor amorfo y dieléctrico amorfo de alta constante, los cuales son materiales ocupados en la fabricación de los TFTs, no presentan absorción a las longitudes de onda ocupadas por el equipo, dando como resultado que el valor de  $k$  será igual a “cero”. En la figura 5.9 se ve la medición de la muestra por el elipsómetro después de ser tratada por el dispositivo ozonizador.

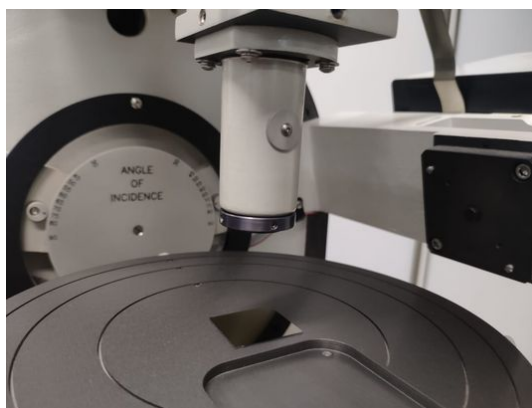


Figura 5.9 Medición de la muestra por el elipsómetro

En la figura 5.10 se ilustra la interfaz del software utilizado para obtener los datos de las mediciones.

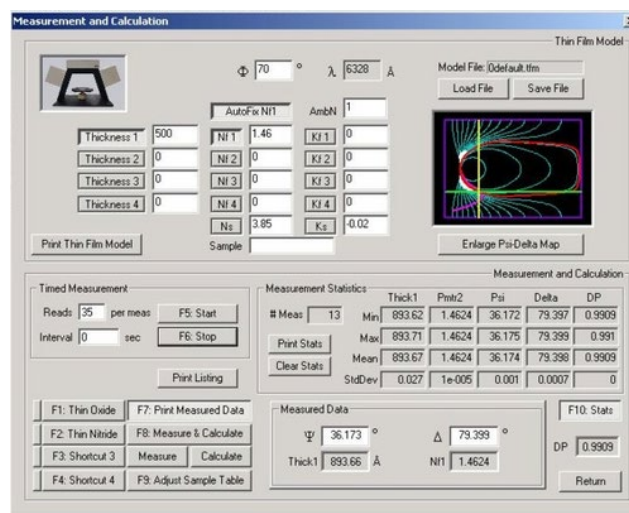


Figura 5.10 Software de medición y cálculo del elipsómetro

La imagen anterior no contiene los datos medidos solo se utilizó para ilustrar el funcionamiento del software

De los datos extraídos por el software del elipsómetro se obtuvo un documento con los datos adquiridos en el procedimiento, de los cuales se seleccionaron únicamente los espesores e índice de refracción de cada muestra como datos a analizar.

En la tabla 5.1 se muestra el resultado del cálculo del espesor e índice de refracción mediante el software del fabricante, ocupando los parámetros psi ( $\Psi$ ) y delta ( $\Delta$ ) de cada

medición por elipsometría. La longitud de onda ocupada para la medición del espesor es de  $\lambda=632.8$  nm y  $\lambda=824.3$  nm, configurado por el fabricante del equipo.

Muestra	Etapa de medición	Espesor (nm)	Índice de refracción $\lambda=632.8$ nm	Índice de refracción $\lambda=824.3$ nm
HIZO	Inicio (Sin exposición)	55.7	1.9755	1.9603
	Al termino de sesión 1	56.6	1.9755	1.9603
	Al termino de sesión 2	57.1	1.9755	1.9603
HfO <sub>2</sub>	Inicio (Sin exposición)	56.0	1.7348	1.7079
	Al termino de sesión 1	59.6	1.7348	1.7079
	Al termino de sesión 2	60.0	1.7348	1.7079

Tabla 5.1 Resultados de medición de espesores por elipsometría.

En la figura 5.11 se muestra el gráfico de la medición del espesor para la muestra de HIZO. De los resultados en las tablas de los anexos se pudo observar un incremento en nanómetros del espesor de la película, con la ligera tendencia a saturar dicho valor.

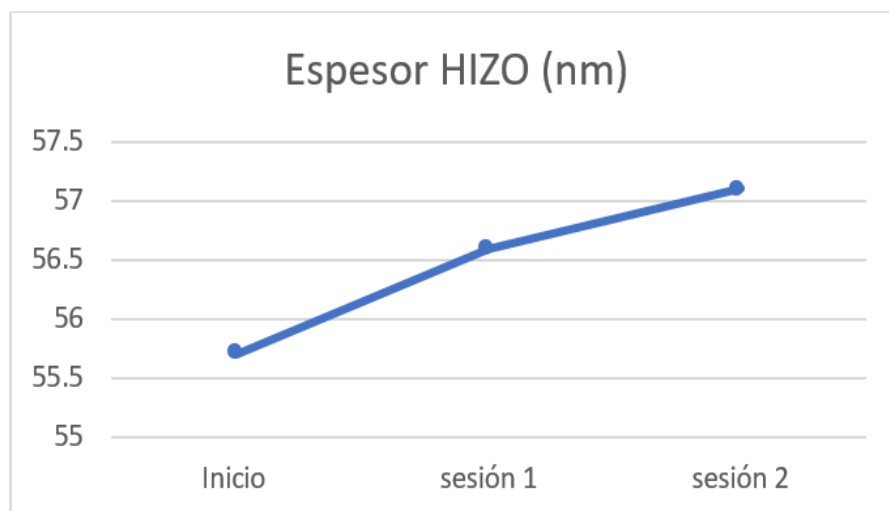


Figura 5.11 Grafico del espesor de HIZO al inicio y después de su tratamiento en ozono

La medición inicial se dio antes de someterla al dispositivo ozonizador, la sesión 1 fue después de un proceso de exposición completa dentro del proyecto y la sesión 2 fue después de someter las muestras una vez más al mismo procedimiento en el dispositivo.

En figura 5.12 se muestra el gráfico de la variación en el espesor de la película del  $\text{HfO}_2$  antes y después del tratamiento en ozono. Del resultado de las tablas de los anexos se pudo observar un ligero incremento en el espesor de la película, y una mayor tendencia a saturar su valor.

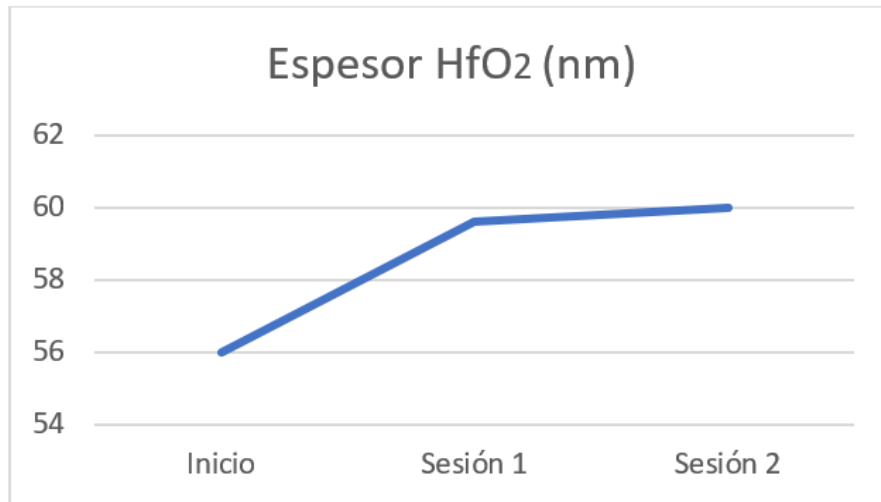


Figura 5.12 Gráfico del espesor del  $\text{HfO}_2$  al inicio y después de su tratamiento en ozono.

En base a lo visto para ambas muestras, se observó un ligero incremento del espesor después de la sesión 1 y un incremento aún menor después de la sesión 2, tendiendo a saturar el espesor después de más sesiones en ozono a cada uno de los materiales. Esto podría traducirse como una densificación en los átomos de oxígeno provenientes del ozono a los átomos desplazados o faltantes en la superficie del material mejor conocido como “vacancias de oxígeno”.

La reducción de vacancias de oxígeno puede afectar al dieléctrico, a la interfaz dieléctrico-semiconductor, al semiconductor y a la interfaz semiconductor-metal de contacto para formar el drenador y fuente. Por ejemplo, la reducción de vacancias de oxígeno en el dieléctrico podría reducir el desplazamiento del voltaje de umbral del TFT. Por otro lado, en el semiconductor los defectos estructurales forman trampas para los portadores, y con la reducción de vacancias de oxígeno se podría modular la concentración de los portadores [31]. La modulación de las vacancias de oxígeno para este tipo de materiales amorfos es de interés de estudio para mejorar las características de los TFTs y para futuras aplicaciones alternativas.

Se tendría que hacer un estudio más amplio de la inclusión del uso del tratamiento en ozono a la superficie de los materiales semiconductor y dieléctrico de compuerta en el proceso de fabricación de AOSTFTs. Se esperaría que el uso del dispositivo ozonizador como tratamiento de superficies durante el proceso de fabricación de los AOSTFT sea una alternativa de desarrollo tecnológico para mejorar la estabilidad de los dispositivos.

### **5.3 Resultados del dispositivo ozonizador como limpieza de superficie**

Se realizaron pruebas del dispositivo ozonizador para su uso como limpieza de superficies, para ellos se colocaron diferentes sustratos con materiales depositados, así como materiales del laboratorio de microelectrónica.

Se enlistan los materiales ocupados para realizar la prueba con el dispositivo ozonizador:

- Sustrato de vidrio con capa de aluminio de 150 nm de espesor
- Sustrato de vidrio con fotorresina de 400 nm de espesor
- Sustrato de vidrio sucio
- Sustrato de vidrio limpio
- Sustrato de silicio sucio
- Guante estéril para su uso en el laboratorio
- Pinzas de acero inoxidable

Se configuro el dispositivo ozonizador para realizar dos sesiones de 8 ciclos con 10 exposiciones de ozono de un minuto a las muestras y materiales, esta misma configuración fue ocupada en el proceso anterior del proyecto como tratamiento de superficies.

En la figura 5.13 se muestran los sustratos utilizados para la prueba del dispositivo ozonizador ocupado como limpiador de superficies.

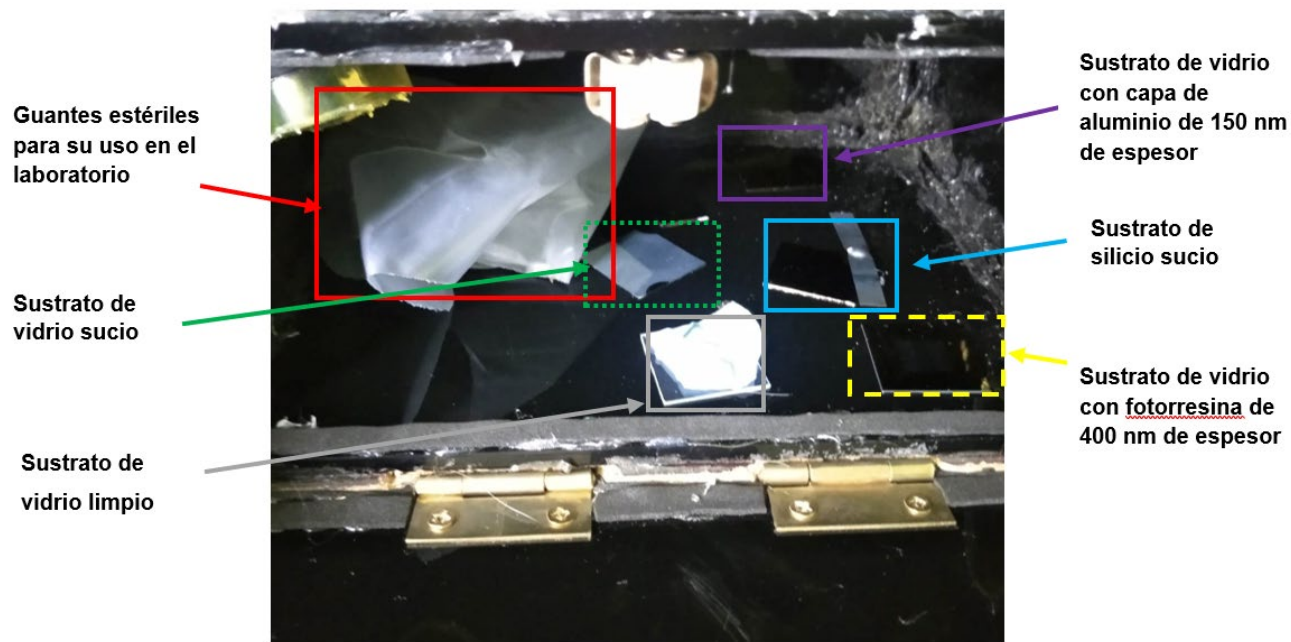


Figura 5.13 Experimento de limpieza con el dispositivo ozonizador

Del resultado obtenido no se mostraron cambios a simple vista, adicionalmente la realización de más pruebas en el laboratorio de microelectrónica fue limitada, debido a las nuevas restricciones de uso del laboratorio en tiempo de pandemia por el Covid-19.



## 5.4 Conclusiones

En este capítulo se centró en el funcionamiento de la generación del ozono y de su aplicación como dispositivo ozonizador. De los resultados de la generación del ozono se presentan dos posibles aplicaciones, las cuales son como tratamiento de superficies y limpieza de superficies en el laboratorio.

De acuerdo a la calibración del sensor se obtuvo ozono en proporciones de: 300ppb en un ambiente cerrado.

En cuanto a los resultados obtenidos al utilizar el dispositivo ozonizador como tratamiento de superficies se concluyó que, al observar una alteración en el espesor de los sustratos, esto se puede interpretar como una densificación en átomos de oxígeno provenientes del ozono empleado, dando como resultado en una reducción en las vacancias de oxígeno del dispositivo. La modulación de las vacancias de oxígeno es de interés ya que puede mejorar las características eléctricas de los TFTs.

Los estudios obtenidos no fueron pruebas contundentes por lo que se tendría que hacer un estudio más a fondo en esa área.

En cuanto al dispositivo ozonizador empleado para la limpieza de superficies no se obtuvieron resultados muy sólidos ya que a simple vista no se observaron cambios en los objetivos de pruebas, se tendrían que realizar más pruebas utilizando un microscopio para poder observar más a detalle los objetivos de prueba.

## **CAPITULO VI – Conclusiones generales**

En este trabajo se llevó a cabo el desarrollo de un dispositivo ozonizador con el propósito de dar tratamiento a los óxidos amorfos utilizados en la fabricación de dispositivos electrónicos.

Con el propósito de comprender mejor las funciones del ozono se realizó un estudio en el que se concluyó que el ozono es un gas comprendido por tres átomos de oxígeno, es un oxidante muy potente por lo que reacciona con una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos, lo que lo convierte una gran opción como desinfectante y tratamiento de superficies.

Una vez que se comprendieron las propiedades del ozono se realizó un estudio sobre sus aplicaciones dentro de la microelectrónica, donde se concluyó que el tratamiento de superficie de materiales con ozono puede ayudar a mejorar el funcionamiento de los dispositivos electrónicos en este caso enfocándose en los TFTs basados en óxidos amorfos. Los cuales son fabricados en el laboratorio de polímeros de la SEES, laboratorio donde fueron realizados los experimentos para comprobar el funcionamiento del dispositivo ozonizador.

Conociendo las características más importantes del ozono se realizó una investigación sobre los ozonizadores, de donde se obtuvieron sus características más importantes las cuales son: su tipo de generación, su cuantificación y sus sistemas de seguridad. En base a esta investigación se seleccionó el método de generación en que se basaría el proyecto, así como el método de cuantificación que sería empleado para la obtención de datos, en base a esto el sensor MQ-131 fue seleccionado por su alta sensibilidad y su compatibilidad con la tecnología TTL la cual puede ser empleada para aplicaciones basadas en microcontroladores.

Una vez concluido el desarrollo teórico se planteó planificar el desarrollo práctico, en donde se diseñó todo lo referente a la composición del dispositivo ozonizador.

Teniendo todas las bases del diseño se procedió a la etapa de elaboración, donde primero se desarrolló un prototipo para comprender mejor el funcionamiento del dispositivo

ozonizador. Y finalmente se desarrolló la carcasa, se montaron los componentes eléctricos además de utilizar componentes electrónicos y el código de programación del Arduino nos permitió automatizar el sistema para de esta forma obtener la versión final.

Ya teniendo el dispositivo listo fue necesario realizar experimentos para comprobar su funcionamiento en donde se verifico su eficiencia como tratamiento y limpieza de superficies. En base a la experimentación se concluyó que el tratamiento con ozono ayudaba a la reducción en las vacancias de oxígeno del dispositivo, la modulación de vacancias de oxígeno es de interés ya que puede mejorar las características eléctricas de los TFTs de óxidos amorfos.

En cuanto al dispositivo ozonizador empleado para la limpieza de superficies no se obtuvieron resultados muy sólidos ya que a simple vista no se observaron cambios en los objetivos de pruebas, se tendrían que realizar más pruebas utilizando un microscopio para poder observar más a detalle los cambios en la superficie. Los estudios obtenidos no fueron pruebas contundentes por lo que se tendría que hacer un estudio más a fondo en esa área. Dichos estudios no pudieron realizarse a fondo debido al cierre del laboratorio dado a las contingencias de la covid-19 las cuales sigue sin dar acceso a las instalaciones.

# Glosario

**1.-Dioxígeno:** El oxígeno molecular, dioxígeno u oxígeno gaseoso (generalmente llamado sólo oxígeno) es un compuesto químico diatómico que se compone de dos átomos de oxígeno. Es un gas (a condiciones normales de presión y temperatura) incoloro, inodoro e insípido.

**2.- Espectroscopía de microondas:** Técnica utilizada en el análisis químico y en determinación de la estructura molecular. Longitudes de enlace. Ángulos de enlace. Momentos dipolares.

**3.-Potencial de reducción (Redox):** Es la tendencia de las especies químicas en una reacción redox o de un electrodo en una celda galvánica a adquirir electrones. Se produce por la reacción de dos semiceldas que no están en equilibrio y se mide en milivoltios por comparación con un electrodo de referencia como el de hidrógeno.

**4.-Ionización:** La ionización es un procedimiento a través del cual se generan iones (un átomo o una molécula que dispone de carga eléctrica a partir de ganar o de perder una cierta cantidad de electrones).

**5.-Rigidez Dieléctrica:** Se entiende por rigidez dieléctrica o rigidez electrostática el valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aislante y pasa a ser conductor. Se mide en voltios por metro V/m.

**6.- Efluente:** Líquido residual que fluye de una instalación.

**7.-Deodorizacion:** Proceso utilizado para eliminar o enmascarar olores, en particular, olores desagradables.

**8.-Micropatterning:** Es la creación de superficies específicamente modeladas y texturizadas para estudiar los efectos del microambiente celular sobre la célula, el tejido, o el comportamiento del órgano.

**9.-Estequiometría:** Es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química

**10.- Sputtering (método de pulverización catódica):** Es un proceso físico en el que se produce la vaporización de los átomos de un material sólido denominado "blanco" mediante el bombardeo de este por iones energéticos. Este es un proceso muy utilizado en la formación de películas delgadas sobre materiales, técnicas de grabado y técnicas analíticas.

**11.-Intersticiales:** Espacio pequeño que se halla entre dos cuerpos o entre dos componentes de un cuerpo.

**12.-Electrolitos:** Sustancia que se descompone en iones (partículas cargadas de electricidad) cuando se disuelve en agua o los líquidos del cuerpo.

**13.-Fluctuante:** Este término hace referencia como participio activo de fluctuar, es decir que fluctúa, oscila, mueve, ondula, moda, alterna y varía sobre el agua por un movimiento agitado, que duda de una resolución o también que disminuye de una manera paulatinamente.

**14.-Monocromos:** Son términos que se aplican a lo que tiene un solo color.

**15.-I2C:** Es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales.

**16.-Latch (Lat Memory Inglet):** También conocida como puerta lógica "RESET" es un circuito electrónico biestable asíncrono usado para almacenar información en sistemas lógicos digitales.

# Índice de Imágenes

Figura 1.1 Christian Friedrich Schönbein (1799–1868) - - - - -	1
Figura 1.2 Resonancia de las estructuras de Lewis de la molécula de ozono - - - - -	1
Figura 1.3 El ozono en la estratosfera - - - - -	4
Figura 1.4 Distribución del ozono en la atmosfera - - - - -	4
Figura 1.5 El ciclo del ozono - - - - -	5
Figura 1.6 Transformación de oxígeno a ozono mediante luz ultravioleta - - - - -	6
Figura 1.7 Rango de luz ultravioleta en el espectro de luz - - - - -	7
Figura 1.8 El efecto corona en las líneas de transmisión - - - - -	8
Figura 1.9 Esquema del efecto corona - - - - -	8
Figura 1.10 Esquema de la generación por hidrolisis. - - - - -	9
Figura 1.11 Imagen alusiva de desinfección de gérmenes utilizando el ozono - - - - -	11
Figura 2.1 Sustrato de silicio - - - - -	14
Figura 2.2 Laboratorio de polímeros de la SEES - - - - -	15
Figura 2.3 Ilustración de un TFT - - - - -	16
Figura 2.4 Ilustración de un sustrato sometido por lampara de UV - - - - -	17
Figura 3.1 Demostración de producción de ozono, laboratorio de investigación de nitrógeno fijo, 1926 - - -	23
Figura 3.2 Proceso de producción de un ozonizador - - - - -	24
Figura 3.3 Medición de ozono por luz ultra violeta - - - - -	27
Figura 3.4 Sensor electroquímico de celda - - - - -	28
Figura 3.5 Sensor semiconductor - - - - -	29
Figura 3.6 Diagrama esquemático de sensor MQ-131 - - - - -	30
Figura 3.7 Modelo de generador estático - - - - -	32

Figura 3.8 Cañón de ozono portátil - - - - -	32
Figura 3.9 Ozonizador portátil - - - - -	33
Figura 3.10 Generador de ozono purificador de aire - - - - -	34
Figura 3.11 Lámpara UV de desinfección purificador de aire - - - - -	34
Figura 3.12 Cámara UV de ozono con sustrato calentador para la limpieza de todo tipo de sustratos - - - -	35
Figura 4.1 Diagrama de flujo del código - - - - -	37
Figura 4.2 Diagrama electrónico del proyecto - - - - -	39
Figura 4.3 Modelo 3D de la carcasa- - - - -	40
Figura 4.4 Transformador reductor 24V a 1A- - - - -	41
Figura 4.5 Composición interna de un flyback - - - - -	43
Figura 4.6 Diagrama esquemático del módulo relevador - - - - -	44
Figura 4.7. Módulo regulador de temperatura e inducción - - - - -	45
Figura 4.8 Esquema del circuito para el módulo regulador de temperatura e inducción - - - - -	46
Figura 4.9 Diseño de las placas de aluminio - - - - -	47
Figura 4.10 Ventilador de 24V - - - - -	48
Figura 4.11 Extractor - - - - -	49
Figura 4.12 Diagrama esquemático Arduino nano - - - - -	50
Figura 4.13 Pantalla LCD - - - - -	51
Figura 4.14 Módulo adaptador I2C- - - - -	52
Figura 4.15 Configuración de componentes en etapa de prototipo - - - - -	53
Figura 4.16 Prototipo para las placas de aluminio - - - - -	54
Figura 4.17 Configuración de los componentes - - - - -	55
Figura 4.18 Sección de generación y acondicionamiento de voltaje - - - - -	56
Figura 4.19 Reorganización del ventilador de entrada - - - - -	56
Figura 4.20 Sección de generación del arco eléctrico - - - - -	57

Figura 4.21 Puerta de la cámara de limpieza	57
Figura 4.22 Integración del tubo de extracción	58
Figura 4.23 Tubo de extracción versión 2	58
Figura 4.24 Panel de control	59
Figura 4.25 Prueba del funcionamiento final	60
Figura 4.26 Organización de cables y componentes	60
Figura 4.27 Presentación final del dispositivo ozonizador	61
Figura 4.28 Dispositivo ozonizador encendido	61
Figura 5.1 Pruebas con sensor MQ-131 y el microcontrolador	63
Figura 5.2 Adquisición de datos por medio de la interfaz de Arduino	64
Figura 5.3 Curva de sensibilidad del sensor MQ-131	65
Figura 5.4 Curva de sensibilidad (Primer experimento)	65
Figura 5.5 Curva de sensibilidad (Promedio de 10 experimentos)	66
Figura 5.6 Degradación del ozono en 180 segundos (Primer Experimento)	67
Figura 5.7 Degradación del ozono en 180 segundos (Promedio de 10 Experimentos).	67
Figura 5.8 Elipsómetro de la SEES	69
Figura 5.9 Medición de la muestra por el elipsómetro	70
Figura 5.10 Software de medición y cálculo del elipsómetro	70
Figura 5.11 Gráfico del espesor del HIZO al inicio y después de su tratamiento en ozono	71
Figura 5.12 Gráfico del espesor del HfO <sub>2</sub> al inicio y después de su tratamiento en ozono	72
Figura 5.13 Experimento de limpieza con el dispositivo ozonizador	74



# Índice de tablas

Tabla 1.1 Propiedades físicas del ozono.....	2
Tabla 1.2 Potencial de reducción de algunos compuestos oxidantes.....	2
Tabla 2.1 Pasos del proceso de limpieza de la oblea y objetivos de estos.....	19
Tabla 2.2 Tabla de sustancias del proceso RCA.....	20
Tabla 3.1 Parámetros técnicos MQ-131.....	31
Tabla 4.1 Parámetros de funcionamiento del transformador.....	42
Tabla 4.2 Parámetros de funcionamiento del módulo relevador.....	44
Tabla 4.3 Especificaciones del ventilador .....	48
Tabla 4.4 Especificaciones del extractor.....	49
Tabla 4.5 Especificaciones del LCD.....	51
Tabla 5.1 Resultados de medición de espesores por elipsometría .....	71

# Bibliografía

- [1] “¿Qué es la desinfección del agua con ozono? - Carbotecnia”.  
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/desinfeccion/desinfeccion-con-ozono/> (consultado ene. 24, 2021).
- [2] “FisicaNet - Biografía de Schönbein, Christian Friedrich - BI852 [Científicos e Inventores]”.  
[https://www.fisicanet.com.ar/biografias/cientificos/s/schonbein-christian-friedrich.php?fbclid=IwAR0djZwXe5beEoZ4NlvKWvaoW\\_OjRt8D7V7Q2YjOQwrydVroLkhRB\\_l\\_p908](https://www.fisicanet.com.ar/biografias/cientificos/s/schonbein-christian-friedrich.php?fbclid=IwAR0djZwXe5beEoZ4NlvKWvaoW_OjRt8D7V7Q2YjOQwrydVroLkhRB_l_p908) (consultado dic. 23, 2021).
- [3] “Ozono | Tecnozono | Características y formas obtención ozono”.  
<https://www.tecnozono.com/ozono/> (consultado ene. 22, 2021).
- [4] “CAPÍTULO 2 EFECTOS DEL OZONO Y NO<sub>2</sub>”.  
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10539/capitulo2.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (consultado ene. 24, 2021).
- [5] “(¿ CUÁL ES EL ORIGEN DEL OZONO EN LA ATMÓSFERA?)”.  
<http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/161512979/02.+Cuál+es+el+origen+d+el+ozono+en+la+atmósfera/93399b30-21f7-480f-bfbc-efd4a80f555c> (consultado ene. 22, 2021).
- [6] “Ozonizador Indizono, cultivo de cannabis sin olores- Alchimiaweb”.  
<https://www.alchimiaweb.com/blog/ozonizador-indizono-cultivo-cannabis-sin-olores/> (consultado ene. 24, 2021).
- [7] “Efectos de la radiación UV en los ojos y diferentes tipos de daño que puede causar.”  
<https://www.jnjvisioncare.es/education/quick-learning-by-topic/uv-and-contact-lenses/uv-damange?fbclid=IwAR15tty8a3U5UE9psv6OOx8hpLrl5gSqcyBGYlSeKeqxHmzdzHqmWOyx7SY> (consultado dic. 23, 2021).
- [8] “Funcionamiento del Efecto Corona para Generar Ozono | TOP OZONO”.  
<https://topozono.com/ozono/tecnologia-para-generar-ozono/> (consultado ene. 24, 2021).
- [9] “Cite Energía Efecto Corona Sobre Líneas de Transmisión”, 2017. Consultado: ene. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-efecto-corona.pdf> .
- [10] “Generadores de ozono Primozone®-Ingapres, un innovador sistema de generación de ozono que revoluciona el mercado”.  
[https://www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/generadores-de-ozono-primozone-ingapres-un-innovador-sistema-de-generacion-de-ozono-que-revoluciona-el-mercado?fbclid=IwAR1nzTjk0NNXs6RFCyMXAn4\\_ico9ZWJAw9M\\_DpIV5O2jc9MksMHx4MkbT4s](https://www.aguasresiduales.info/revista/reportajes/generadores-de-ozono-primozone-ingapres-un-innovador-sistema-de-generacion-de-ozono-que-revoluciona-el-mercado?fbclid=IwAR1nzTjk0NNXs6RFCyMXAn4_ico9ZWJAw9M_DpIV5O2jc9MksMHx4MkbT4s) (consultado ago. 16, 2021).
- [11] “Utilización y Propiedades del ozono | Necen Ozono”.  
<https://maquinasdeozono.es/aplicaciones-del-ozono> (consultado ago. 16, 2021).
- [12] “El ozono y su acción desinfectante y desodorizante - Necen Ozono”.  
<https://maquinasdeozono.es/el-ozono> (consultado ene. 24, 2021).
- [13] M. Estrada, A Escobosa “Tecnología de fabricación de microcircuitos: Aspectos básicos” , Alemania, Editorial académica española, 2012.

- [14] "CZ Silicon Wafer, सिलिकॉन वेफर - Techinstro, Nagpur | ID: 10259009697".  
[https://www.indiamart.com/proddetail/cz-silicon-wafer-10259009697.html?pos=2&pla=n&fbclid=IwAR0VyGHX7Tgk\\_9iFQWYJ39n16fvgAhsMVoGV6c8-c4TTAtTgmtb0UggD02c](https://www.indiamart.com/proddetail/cz-silicon-wafer-10259009697.html?pos=2&pla=n&fbclid=IwAR0VyGHX7Tgk_9iFQWYJ39n16fvgAhsMVoGV6c8-c4TTAtTgmtb0UggD02c) (consultado nov. 23, 2021).
- [15] ISAI SALVADOR HERNANDEZ LUNA "Diseño y fabricación de transistores de capas finas basados en Hf-In-ZnO y HfO<sub>2</sub> de alta movilidad y bajo voltaje de operación", Ciudad de Mexico. 2021
- [16] K. Umeda *et al.*, "Impact of UV/O<sub>3</sub> treatment on solution-processed amorphous InGaZnO<sub>4</sub> thin-film transistors", *J. Appl. Phys.*, vol. 113, núm. 18, p. 184509, may 2013, doi: 10.1063/1.4804667.
- [17] "J.T.Baker". <https://www.fishersci.es/es/es/brands/IPF8MGDA/jt-baker.html> (consultado ago. 29, 2021).
- [18] "ozone generation". <https://www.lenntech.es/library/ozone/generation/ozone-generation.htm> (consultado ene. 24, 2021).
- [19] M. B. Rubin, "The History of Ozone. Part III", *Helv. Chim. Acta*, vol. 86, núm. 4, pp. 930–940, abr. 2003, doi: 10.1002/hlca.200390111.
- [20] "Comparación radiación ultravioleta y aplicación ozono gaseoso".  
<https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/comparacion-de-la-exposicion-a-radiacion-ultravioleta-confinada-y-aplicacion-de-ozono-gaseoso-de-forma-aerea?fbclid=IwAR0OTZ7yDCbNrXcfuhmu-J2BO3ft7vsZGJSU9LEJ2Ce-aYWLN0tOEb2It0k> (consultado nov. 23, 2021).
- [21] "2. SENSORES". [https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master\\_IE/Sensores.pdf](https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Sensores.pdf) (consultado ago. 16, 2021).
- [22] "Introducción a los Sistemas de Detección de Gases".  
<https://www.draeger.com/Library/Content/9046703-infoflip-gds-es.pdf> (consultado ago 16, 2021).
- [23] "Ozone Gas Sensor (Model : MQ131 Low Concentration) Manual", 2014. Consultado: ene. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: [www.winsen-sensor.com](http://www.winsen-sensor.com).
- [24] "Generadores de Ozono - Preguntas Frecuentes".  
[https://hosteleria10.com/blog/generadores-de-ozono-faqs.html?fbclid=IwAR0avV-qQJ7TaKpxsYyokbDeF9nH-NAGFeZevbamdScL3rq\\_QnjFwN5YIFI](https://hosteleria10.com/blog/generadores-de-ozono-faqs.html?fbclid=IwAR0avV-qQJ7TaKpxsYyokbDeF9nH-NAGFeZevbamdScL3rq_QnjFwN5YIFI) (consultado ago. 22, 2021).
- [25] "Ozonizador Serie Básica Industrial | Equipos de Ozono | CosemarOzono.com".  
<https://www.cosemarozono.com/equipos/generadores-ozono-profesionales/ozonizador-modular/> (consultado nov. 23, 2021).
- [26] "Lámpara de Esterilización Ultravioleta Por Radiacion Uvc + Ozono - Gestrans".  
<https://gestrans.store/es/lampara-de-esterilizacion-ultravioleta-por-radiacion-uvc-ozono> (consultado nov. 23, 2021).
- [27] "Limpiador De Ozono Ultravioleta (uv) De Escritorio Con Calentador De Sustrato Para Limpiar Todo Tipo De Sustratos - Buy Ultraviolet (uv) Ozone Cleaner,Ultraviolet (uv) Ozone Cleaner With Substrate Heater,Desktop Ultraviolet (uv) Ozone Cleaner Product on Alibaba.com". <https://spanish.alibaba.com/product-detail/desktop-ultraviolet-uv-ozone->

cleaner-with-substrate-heater-for-cleaning-all-types-of-substrates-62219532787.html  
(consultado nov. 23, 2021).

- [28] “El Flyback - Principios, funcionamiento, comprobación”.  
<https://www.comunidadelectronicos.com/articulos/flyback.htm> (consultado ago. 14, 2021).
- [29] “Arduino - Home”. <https://www.arduino.cc/> (consultado ago. 14, 2021).
- [30] “Elipsometría”.  
<http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/nanotecnologia/elipsometria/> (consultado nov. 23, 2021).
- [31] Arvids Stashans, Sheyla Serrano, P. Medina "Estudio químico-cuántico de los defectos producidos por las vacancias de oxígeno en los cristales de Titanato de plomo  $PbTiO_3$ ." Ingenius (Consultado nov. 23 2021).

# Anexos

## Código de programación para la automatización del panel de control del dispositivo ozonizador

Azul: Relevadores

Verde Lima: LCD

Verde: Sensor MQ-131

Amarillo: Botones

Gris: Acciones de Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

unsigned long TiempoR=0; //Variable de tiempo real

int Lapso30s=30000;
int Lapso45s=45000;
int Lapso60s=60000;
int Lapso10s=10000; //variables de tiempo para el delay
int Boton30=1;
int Boton45=1;
int Boton60=1; //variables de los interruptores

int Accion=0;

int Ciclos=0; // Ciclos de activaciones de los relés

int ozono=0;

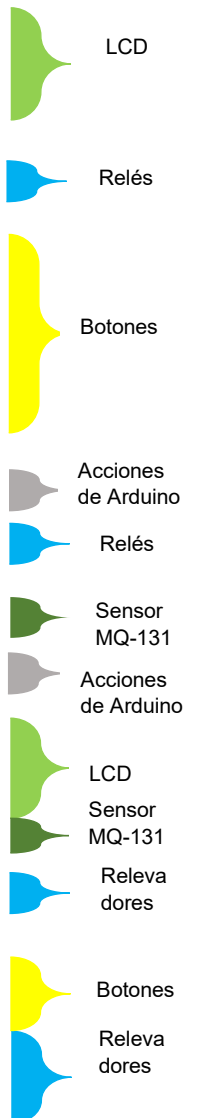
void setup() {

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Ozonizador");
  pinMode(A0,0);

  pinMode(6,1); //Relevador del ventilador

  pinMode(8,0); //Boton de 30 seg
  pinMode(9,0); //Boton de 45 seg
  pinMode(10,0); // Boton de 60 seg
  pinMode(13,1); //Relevador del arco eléctrico

  //Configuración de entradas y salidas
```



```

}
void loop() {

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Pulsar tiempo");

  Boton30=digitalRead(8);
  Boton45=digitalRead(9);
  Boton60=digitalRead(10); //Lectura de botones
  if(Boton30==0) { //if del boton 30

    Accion=1;
  }
  if(Boton45==0) {

    Accion=2;
  }
  if(Boton60==0) {

    Accion=3;
  }

  switch (Accion){
    case 1:

      Ciclos=0;
      while(Ciclos<10) { // while de control de ciclos

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("En proceso...");

        ozono=analogRead(A0);

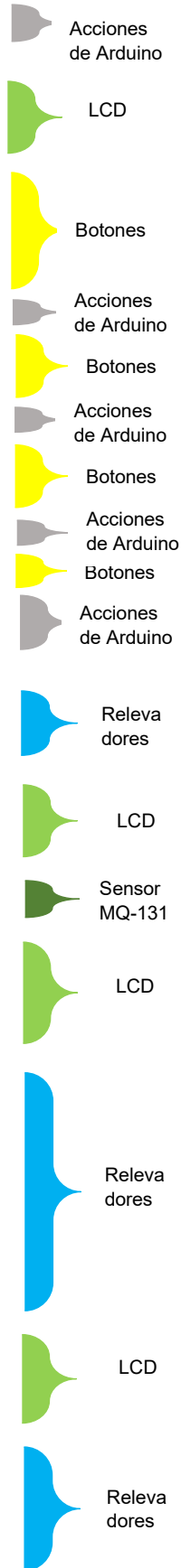
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("V de ozono-");
        lcd.setCursor(12,1);
        lcd.print(ozono);

        digitalWrite(13,0); //encender arco
        TiempoR=millis();
        while(millis() < TiempoR +Lapso30s){ // delay con
            funcion millis
        }
        Ciclos=Ciclos+1; // incremento a la variable de ciclos
        digitalWrite(13,1); //se apaga el arco
        digitalWrite(6,0); //se enciende el extractor

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Enfriando...");

        TiempoR=millis();
        while(millis() < TiempoR +Lapso10s){
        }
      }
    }
  }
}

```



```

digitalWrite(6,1); //se apaga el extractor
}
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Finalizado");

while(Lapso10s==10000){
}

break;
case 2:

Ciclos=0;
while(Ciclos<10){

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("En proceso...");

ozono=analogRead(A0);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("V de ozono-");
lcd.setCursor(12,1);
lcd.print(ozono);

digitalWrite(13,0);
TiempoR=millis();
while(millis() < TiempoR +Lapso45s){
}
Ciclos=Ciclos+1;
digitalWrite(13,1);
digitalWrite(6,0);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Enfriando...");

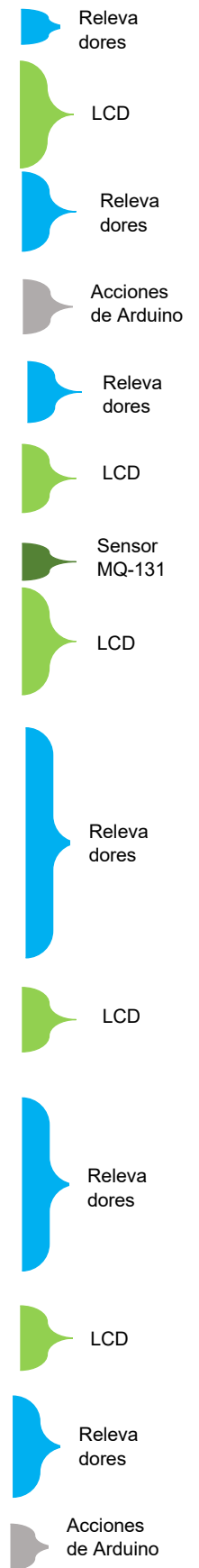
TiempoR=millis();
while(millis() < TiempoR +Lapso10s){
}
digitalWrite(6,1);
}

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Finalizado");

while(Lapso10s==10000){
}

break;
case 3:

```



```

Ciclos=0;
while(Ciclos<10){

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("En proceso...");

  ozono=analogRead(A0);

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("V de ozono-");
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print(ozono);

  digitalWrite(13,0);
  TiempoR=millis();
  while(millis() < TiempoR +Lapso60s){

  }
  Ciclos=Ciclos+1;
  digitalWrite(13,1);
  digitalWrite(6,0);

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Enfriando...");

  TiempoR=millis();
  while(millis() < TiempoR +Lapso10s){

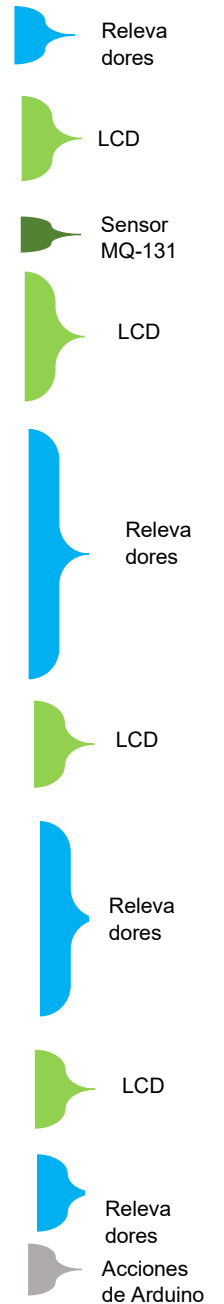
  }
  digitalWrite(6,1);
}

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Finalizado");

while(Lapso10s==10000){

}
}

```





## Tablas del HfO2

HfO2\_290721\_1.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	34.774	149.416	33.868	159.503
50	32.478	140.407	31.052	152.338
55	30.254	129.053	27.993	142.84
60	28.389	114.719	24.96	129.737
65	27.452	96.735	22.617	111.22
70	27.875	76.249	21.966	86.708
75	30.278	54.644	24.358	59.028
80	34.355	34.402	29.634	34.547

Thin Film Model

ID: THfO2\_010318

Thickness	N	K	N	K
560.19	1.7348	0	1.708	-0.024
Substrate	3.8663	-0.07	3.637	-0.012

HfO2\_290721\_2.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	35.255	147.212	33.916	158.082
50	33.078	137.711	31.106	150.444
55	31.032	125.866	28.151	140.418
60	29.419	111.228	25.345	126.844
65	28.7	93.54	23.277	108.188
70	29.427	73.561	22.975	84.067
75	31.842	52.914	25.576	57.572
80	35.635	33.458	30.801	33.836

Thin Film Model

ID: THfO2\_010318

Thickness	N	K	N	K
596.12	1.7348	0	1.7079	-0.024
Substrate	3.8663	-0.06	3.6374	-0.011

HfO2\_290721\_3.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	35.213	146.857	33.779	157.904
50	33.039	137.22	31.084	150.16
55	31.071	125.324	28.201	140.157
60	29.472	110.613	25.377	126.419
65	28.812	92.995	23.368	107.704
70	29.586	73.163	23.148	83.695
75	31.96	52.673	25.714	57.347
80	35.916	33.13	31.099	33.191

Thin Film Model

ID: THfO2\_010318

Thickness	N	K	N	K
600.35	1.7348	0	1.7079	-0.024
Substrate	3.8663	-0.06	3.6374	-0.011

## Tablas del HIZO

HIZO\_290721\_1.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	32.17	144.65	32.474	158.35
50	29.585	134	29.421	150.606
55	27.395	120.51	26.194	140.241
60	25.922	103.855	23.085	125.631
65	25.742	84.267	20.912	105.077
70	27.228	63.824	20.879	79.008
75	30.393	44.765	24.045	52.593
80	34.822	27.949	29.727	30.623

Thin Film Model

ID: HIZO\_290721

Thickness	N	K	N	K
557.86	1.9755	-0.01	1.9603	-0.062
Substrate	3.8663	-0.06	3.6374	-0.011

HIZO\_290721\_2.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	32.357	144.127	32.552	158.101
50	29.776	133.344	29.441	150.238
55	27.669	119.775	26.264	139.758
60	26.349	103.06	23.271	125.025
65	26.297	83.575	21.317	104.467
70	27.804	63.375	21.463	78.448
75	31.059	44.261	24.745	51.83
80	35.434	27.393	30.499	29.718

Thin Film Model

ID: HIZO\_290721

Thickness	N	K	N	K
563.73	1.9755	-0.01	1.9603	-0.057
Substrate	3.8663	-0.06	3.6374	-0.011

HIZO\_290721\_3.txt

Psi Delta  
Data

	WL1	6328	WL2	8243
AOI	PSI	DELTA	PSI	DELTA
45	32.452	142.488	32.505	156.995
50	30.123	131.366	29.56	148.808
55	28.246	117.81	26.559	137.94
60	27.062	101.19	23.672	123.028
65	26.965	82.162	21.85	102.469
70	28.51	62.686	22.124	77.441
75	31.687	44.308	25.315	52.049
80	35.844	27.684	30.897	30.342

Thin Film Model

ID: HIZO\_290721

Thickness	N	K	N	K
576.07	1.9755	-0.01	1.9604	-0.062
Substrate	3.8663	-0.06	3.6374	-0.011

## Tablas de costos del dispositivo ozonizador

Costo de elaboración del dispositivo ozonizador	
Componente	Costo
Fuentes de poder	\$ 250.00
Transformador Flyback	600.00
Electrónica en general	250.00
Sensor de ozono	698.00
Lamina de aluminio	200.00
Acrílico	700.00
Madera	65.00
Ventilador	200.00
Extractor	100.00
Arduino NANO	120.00
Display LCD	44.00
Silicon industrial	150.00
Mangueras	72.00
Bisagras y herrajes	50.00
Cable calibre 16'	50.00
Mano de obra	1000.00
<b>Costo total</b>	<b>\$ 4534.00</b>

## **Manual del dispositivo ozonizador**

- 1.- Conectar el cable de alimentación a 120 v.
- 2.- Encender el dispositivo ozonizador por medio de su interruptor.
- 3.- El ozonizador entrara en etapa de espera.
- 4.- Abrir la puerta e introducir el sustrato u objeto que será sometido al tratamiento y cerrar la puerta.
- 5.- Seleccionar el tiempo de tratamiento deseado entre las configuraciones del panel de control.
- 6.- Esperar a que el ozonizador termine su ciclo de tratamiento.
- 7.- Retirar muestra u objeto del dispositivo ozonizador.
- 8.- Una vez concluido el tratamiento presionar el interruptor para apagarlo.

### **Precauciones**

Antes de poner en funcionamiento el dispositivo ozonizador asegurarse que ninguna de las entradas y salidas de aire se encuentren obstruidas.

Mientras el ozonizador se encuentre realizando un tratamiento asegurarse de que la puerta del ozonizador no se encuentre abierta y no abrirla, ya que esto resultaría en la exposición directa del usuario con el ozono.

En caso de presentar irritación en nariz o garganta, desconectar el dispositivo ozonizador, ventilar la habitación unos minutos (aproximadamente 15) y alejarse de esta mientras se espera.